INGEGNERIA NATURALISTICA

nozioni e tecniche di base

INGEGNERIA NATURALISTICA
nozioni e tecniche di base

INGEGNERIA NATURALISTICA:
nozioni e tecniche di base

INGEGNERIA NATURALISTICA:
nozioni e tecniche di base

Il manuale "Ingegneria Naturalistica- nozioni e tecniche di base" è stato elaborato da CSEA (Società Consortile per Azioni) nell'ambito del progetto formativo finanziato dalla REGIONE PIEMONTE, DIREZIONE ECONOMIA MONTANA E FORESTE, con la Misura C Azione 2 "Formazione nel Settore Forestale" del Piano di Sviluppo Rurale 2000-2006 della Regione Piemonte (Reg CE 1257/99), realizzato con il contributo congiunto di Comunità Europea, Stato Italiano e Regione Piemonte.

Il manuale è destinato al personale impiegato nei cantieri delle sistemazioni forestali e dell'Ingegneria Naturalistica, ed è in distribuzione gratuita presso:

REGIONE PIEMONTE
Direzione Opere Pubbliche, Difesa del Suolo, Economia Montana e Foreste
Corso Stati Uniti, 21
10123 Torino

le modalità di distribuzione sono reperibili sul sito:
www.regione.piemonte.it/montagna/formazione/home. htm

e all'indirizzo formazioneforestale@regione.piemonte.it

Per informazioni sul contenuto tecnico della pubblicazione:
vincenzomaria.molinari@regione.piemonte.it
luca.deantonis@regione.piemonte.it

Autori: *Luca De Antonis e Vincenzo Maria Molinari*
Impaginazione grafica: *Luca Castelli*
Revisione testi: *Viola Erdini*
Coordinamento attività formativa: *Valerio Motta Fre*
Realizzazione versione digitale: *Marco Pignochino*

Si ringraziano gli istruttori di Ingegneria Naturalistica, i progettisti e direttori lavori impegnati nel cantiere didattico realizzato nel maggio 2007 presso il Parco Naturale Alta Val Pesio.

Si ringraziano inoltre la Direzione e il personale del Parco Naturale Alta Val Pesio per la disponibilità e il supporto fornito nell'ambito delle attività svolte.
Si ringraziano infine Pierpaolo Brenta (I.P.L.A.) e Riccardo Lussignoli (Ente Parco Alta Val Pesio) per la fattiva collaborazione a tutti gli aspetti organizzativi inerenti il cantiere formativo.

PRESENTAZIONE

La tutela dell'ambiente interessa ormai numerose discipline del sapere e dell'attività umana: sul piano giuridico, con l'emanazione di leggi e regolamenti e con l'applicazione di vincoli e controlli; sul piano tecnico, con interventi volti alla mitigazione di rischi ed impatti; sul piano scientifico, con lo studio e l'interpretazione della dinamica dei fenomeni e degli equilibri dell'ecosistema. Non meno importante risulta infine il piano umanistico e sociale che attiene all'evoluzione della cultura, dell'educazione e della formazione in materia ambientale.

In questo ambito si inserisce il presente manuale dal titolo "Ingegneria Naturalistica: nozioni e tecniche di base", volto alla formazione e all'aggiornamento di operatori specializzati e redatto contemporaneamente allo svolgimento di un corso tecnico-pratico realizzato nel maggio 2007.

Sviluppando la materia trattata con particolare attenzione alle problematiche inerenti la salute e la sicurezza sul lavoro, alla scelta ed all'utilizzo di materiali ed attrezzature, nonché all'applicabilità delle tecniche naturalistiche negli ambiti di intervento, ci si prefigge l'intento di sviluppare le culture professionali per una maggiore qualificazione della realtà produttiva regionale.

Il manuale si collega con le pubblicazioni regionali già realizzate a supporto della manodopera che opera in ambito forestale ed ambientale, evidenziando le opportunità offerte dall'Ingegneria Naturalistica; questa disciplina, ormai recepita a livello normativo e tecnico, sperimentata e collaudata da anni anche nella nostra Regione, costituisce un ulteriore motivo di cura e gestione del patrimonio forestale, fonte di materia prima (viva e morta) per gli interventi in esame ed occasione di impiego per la manodopera locale.

Per realizzare con successo le opere di Ingegneria Naturalistica è fondamentale il coinvolgimento di tecnici esperti di problemi connessi alla stabilità dei versanti e alla ricostituzione della compagine vegetale, nonchè attraverso l'impiego di manodopera specializzata e di direttori lavori preparati.

Si conclude ricordando che gli interventi eco-compatibili di sistemazione del territorio consentono di risolvere molti problemi di dissesto idrogeologico permettendo, contemporaneamente, di salvaguardare o recuperare l'ambiente ed il paesaggio.

L'Assessore regionale
allo Sviluppo della Montagna e Foreste,
Tutela del Suolo ed Opere Pubbliche

Bruna Sibille

indice

05 TECNICHE COSTRUTTIVE

06 BIBLIOGRAFIA

Le funzioni e le finalita' dell'Ingegneria Naturalistica

introduzione

Il degrado territoriale e il dissesto idrogeologico che caratterizzano determinati ambiti della nostra regione richiedono sempre di più l'attenzione di tutti quei cittadini che hanno a cura l'ambiente e a maggior ragione di quelli che a vario titolo (amministratori, funzionari e professionisti tecnici, imprese e operai) lavorano nell'ambito professionale della sistemazione e recupero del territorio, affinchè vengano fatte scelte consapevoli e il più possibile eco - compatibili.
Chi ha vissuto nell'ultimo ventennio i vari fenomeni alluvionali e di dissesto non può che condividere le principali azioni che devono essere intraprese per la salvaguardia del territorio:

- mantenere "giovane e flessibile" la vegetazione spondale con periodici tagli di selezione ed eliminare la vegetazione in alveo che impedisce il regolare deflusso delle acque;
- effettuare una periodica e corretta manutenzione delle aree boscate e delle aree marginali costituite spesso da coltivi ormai abbandonati e invasi dalla vegetazione pioniera;
- osservare sul territorio e intercettare i fenomeni di ruscellamento incontrollato che si verificano sui versanti per mancata gestione della rete di smaltimento secondaria delle acque;
- gestire e regimare in modo corretto le acque che si avvallano soprattutto su strade, piste e sentieri;
- ridurre il più possibile l'impermeabilizzazione dei suoli creando e mantenendo spazi verdi e diffondendo l'impiego della vegetazione nella sistemazione del territorio.

Tutte queste sono solo alcune delle misure che possono ridurre le cause di innesco di quella miriade di dissesti puntuali da cui spesso si originano fenomeni ben più ampi.
Nell'ampio panorama di attività di prevenzione del dissesto e di misure per la sistemazione e il recupero del territorio si stanno diffondendo sempre più le tecniche di Ingegneria Naturalistica.
Questa disciplina prevede l'utilizzo del materiale vegetale vivo e del legname come materiale da costruzione, (*fig.1*) in abbinamento in taluni casi con materiali inerti come pietrame e massi, terra, legname, ferro e acciaio, fibre vegetali e sintetiche e permette di risolvere un'ampia gamma di problematiche di rivegetazione, consolidamento e drenaggio di versanti, scarpate e sponde.
L'eventuale impiego del cemento deve essere limitato allo stretto indispensabile e comunque in modo tale da non impedire lo sviluppo del materiale vegetale: infatti fondamentale è favorire e permettere la diffusione dell'apparato radicale al fine di consolidare e rinforzare il terreno con l'intreccio delle radici.
È bene sottolineare che l'Ingegneria Naturalistica ha dei limiti e non è la "panacea per tutti i mali", ma è un importante strumento da considerare e utilizzare, talvolta anche in modo integrato con altre tecniche tradizionali.
Spesso le tecniche di Ingegneria Naturalistica rappresentano la soluzione ottimale in molti interventi di consolidamento superficiale e rivegetazione, con sicuri benefici sotto più profili.

Il ricorso a interventi classificati nell'ambito dell'Ingegneria Naturalistica si verifica quando si voglia conseguire almeno una delle finalità di seguito sintetizzate:

- creazione o ricostituzione di un ambiente naturale degradato attraverso l'impiego della vegetazione locale;
- sistemazione idrogeologica e consolidamento del territorio;
- recupero ambientale e inserimento paesaggistico di luoghi e infrastrutture.

L'Ingegneria Naturalistica mette a disposizione un ventaglio di tecniche, particolarmente efficaci per la sistemazione di corsi d'acqua e di versanti, limitando l'azione dell'erosione ed effettuando il consolidamento dei terreni unitamente al recupero dei processi ecologici e al reinserimento paesaggistico di ambiti degradati dal dissesto idrogeologico o dall'attività dell'uomo.
Le tecniche di rivegetazione infatti hanno l'obiettivo di proteggere con la vegetazione la superficie del suolo dall'effetto battente delle piogge, assicurando il corretto assorbimento nel terreno delle acque, evitando così che l'acqua non assorbita si disperda in superficie con velocità che possono diventare erosive. Tale obiettivo può essere ottenuto con la corretta gestione della vegetazione presente o con l'impiego di tecniche che prevedono l'uso del materiale vegetale vivo, come quelle di Ingegneria Naturalistica, descritte successivamente nelle tipologie esaminate.

Figura 1

L'instabilità dei terreni- frane e fenomeni erosivi

L'INSTABILITA' DEI TERRENI

L'instabilità delle formazioni rocciose e di terreno è sempre presente in natura, ed è parte dell'evoluzione della superficie terrestre.
La superficie della Terra evolve infatti con:

- la produzione di nuovo materiale proveniente dalle profondità della terra, attraverso i fenomeni vulcanici e con lentissimi movimenti (centimetri all'anno) che producono l'innalzamento di alcune catene montuose;
- l'erosione dei rilievi da parte di agenti quali la pioggia, il ghiaccio, il vento le variazioni della temperatura;
- il trasporto del materiale solido da parte dei corsi d'acqua, il suo deposito e la successiva sedimentazione, cioè stabilizzazione e consolidamento nel tempo fino a diventare roccia;
- la trasformazione dei minerali all'interno delle rocce al variare delle pressioni e delle temperature con l'approfondirsi dei sedimenti (*fig.1*).

I materiali deposti dai corsi d'acqua al variare delle velocità delle correnti danno luogo alla formazione di sedimenti sciolti, di terreni di varia granulometria (ciottoli, ghiaie, sabbie, limi, argille) (*fig.2*). Anche il flusso dei ghiacciai determina la formazione di terreni con caratteristiche granulometriche particolari (terreni morenici) e molto materiale residuo rimane a formare grandi coni detritici alla base dei fronti rocciosi (*fig.3*), mentre l'interazione con il mare produce altri tipi di depositi, che a loro volta evolvono in maniera particolare.
L'evoluzione dinamica della superficie terrestre (geodinamica) può avvenire in tempi lentissimi (*fig.4*), ma talvolta procede in modo rapido con manifestazioni anche spettacolari (eruzioni vulcaniche, terremoti, maremoti o tsunami, alluvioni ed attività torrentizie, frane).

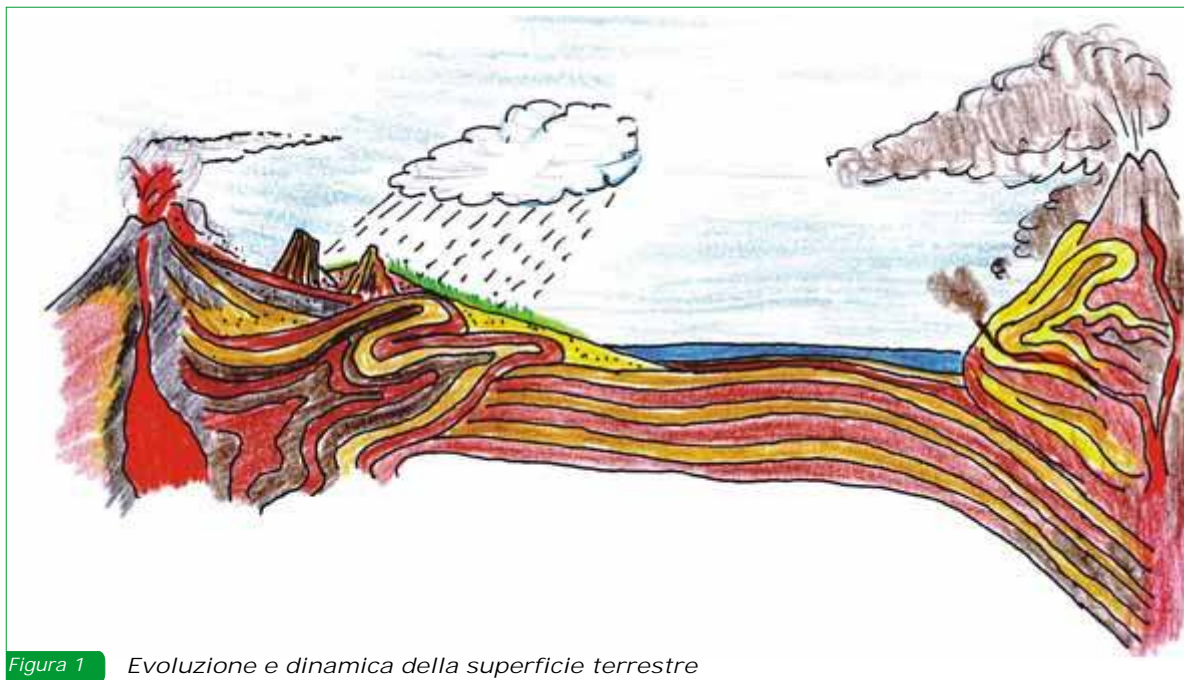



Figura 1 *Evoluzione e dinamica della superficie terrestre*

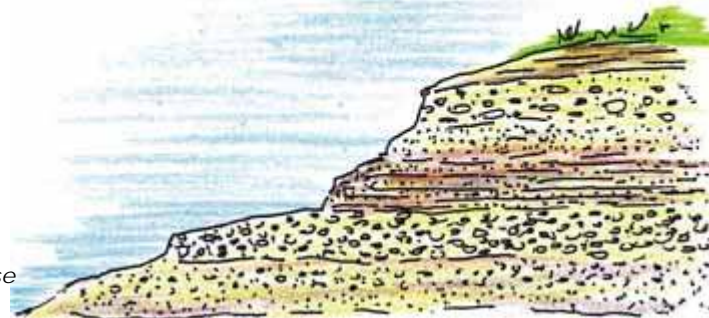



Figura 2

FRANE E FENOMENI EROSIVI

Tutti i fenomeni di dissesto si generano per una perdita delle condizioni di stabilità da parte dei terreni e delle rocce. Le cause che possono dar luogo ad una instabilità possono essere come si è visto - del tutto naturali, ma possono essere anche legate all'attività umana:

- processi di saturazione del suolo ad opera di forti e/o prolungati periodi di pioggia;
- fenomeni di desertificazione o inaridimento di suoli per motivi climatici o a seguito di disboscamenti, escavazione di inerti o deposito di materiali sterili;
- erosioni generalizzate di versanti o di sponde di corsi d'acqua, esondazioni etc...

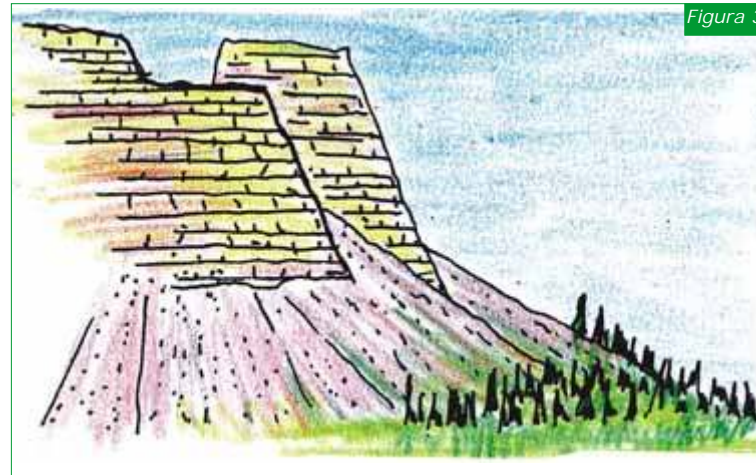



Figura 3 *Detrito di falda alla base di fronti rocciosi calcareo-dolomitici*

1) valle a "V", generata dall'erosione fluviale
2) valle a "U", prodotta dall'erosione glaciale
3) valle "tettonica", dovuta a grandi fratturazioni e spostamenti di masse di terreno e roccia

Figura 4

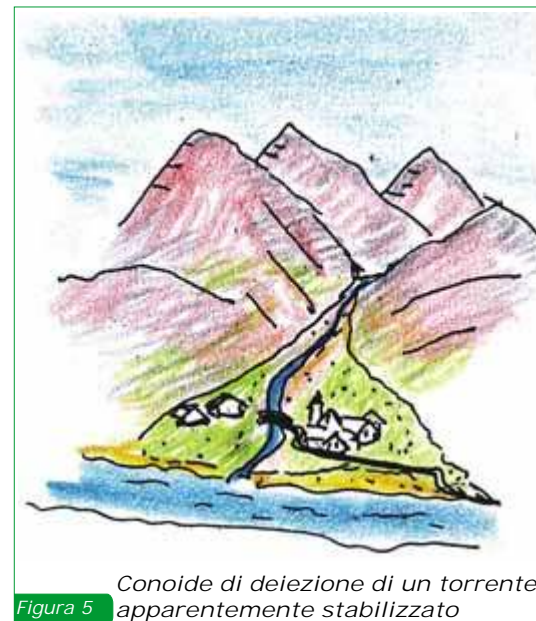



Figura 5 *Conoide di deiezione di un torrente, apparentemente stabilizzato*

In generale esiste un rapporto evidente di causa ed effetto tra le piogge e i movimenti franosi. Per alcuni tipi di frane si è riscontrata una evidente relazione fra l'innesco delle instabilità e la lunghezza del periodo di precipitazione che li ha preceduti; in altri casi si è verificata una relazione con l'intensità della precipitazione: ad esempio nei colamenti rapidi per saturazione e fluidificazione dei terreni superficiali. In altri casi (crolli di roccia e grandi movimenti franosi) la relazione con le precipitazioni o con particolari situazioni climatiche appare più incerta. I meccanismi più importanti che danno luogo a fenomeni franosi possono essere in generale (*fig.6*):

- crolli di roccia
- scivolamenti di masse di terreno;
- colamenti rapidi di terreno saturo
- trasporto di materiale solido in acque di ruscellamento su versanti (flussi incanalati) (*fig.5*).

Talvolta questi fenomeni sono singolarmente individuabili, ma talora si hanno situazioni che possono comprendere più fenomeni insieme.

Figura 6 Meccanismi di instabilita'

Crolli di roccia

Questi dissesti si generano, anche improvvisamente, per distacchi da pareti rocciose o da versanti a elevata pendenza, a causa di:

- aumento della pressione dell'acqua nelle fratture presenti nella massa rocciosa;
- pressione generata dalla formazione di ghiaccio nelle fratture;
- presenza di sollecitazioni dinamiche (vibrazioni, sismi, esplosioni);
- esistenza di uno stato di sollecitazione, talora imputabile ad attività umane (scavi, tagli, ecc.).

I meccanismi che possono innescarsi sono in generale lo scivolamento o il ribaltamento di masse rocciose.
Il fenomeno di caduta o scoscendimento di masse rocciose può coinvolgere ulteriori masse di materiale instabile presente sui pendii ed alimentare flussi detritici.

Scivolamenti di masse di terreno

Le frane da scivolamento interessano solitamente terreni a granulometria molto fine, da limosa ad argillosa, ed evidenziano un rapporto di causa ed effetto rispetto a eventi di pioggia prolungati.
Le sollecitazioni (ad esempio la spinta dell'acqua) che gravano su queste formazioni generano uno scivolamento di massa lungo una superficie che può essere piana (scivolamenti planari), ma più spesso è una curva simile ad un arco di circonferenza (scivolamenti rotazionali). Tale movimento spesso si esaurisce verso valle in forma di colata.
La superficie di scivolamento è normalmente concava, ma può anche essere più complessa, cioè formata da una combinazione di elementi curvi e piani lungo i quali si verificano traslazioni e rotazioni della massa coinvolta.
L'evoluzione di questi fenomeni di instabilità è di solito preceduta da fessurazioni e abbassamenti della zona superiore ed è usualmente rapida nella fase finale di collasso (*fig.7*).

Colamenti rapidi di terreno saturo

Questi dissesti si sviluppano in stretta concomitanza con gli eventi piovosi di forte intensità, e avvengono per saturazione e successiva fluidificazione dei terreni incoerenti di superficie, spesso a valle di zone meno pendenti (terrazzi, pianori, ma anche strade, campi, piazzali), che hanno favorito la concentrazione e la penetrazione nel terreno di elevate quantità d'acqua.
La mobilizzazione avviene con velocità elevate, di alcuni metri al secondo, mentre il materiale fluidificato può percorrere grandi distanze e spesso raggiunge i corsi d'acqua, andando ad aumentare considerevolmente il materiale solido da essi trasportato. Spesso non è visibile una zona di accumulo al piede della frana. La nicchia di distacco è individuabile in versanti con pendenze medie. Le zone di

inflessione del pendio, a valle di terrazzi o locali depressioni, risultano essere i punti maggiormente vulnerabili verso questo tipo di instabilità.
I fenomeni si innescano e si esauriscono quasi sempre in pochi minuti e quindi, in una classifica per grado di pericolosità, questi processi si collocano subito dopo i crolli in roccia. I dissesti si manifestano con uno scivolamento ed evolvono rapidamente in colate, spesso incanalate in linee di drenaggio o incisioni.

Flussi incanalati

Un flusso incanalato (debris flow) è il prodotto dell'instabilità di una massa di detriti solidi che si muove per effetto della gravità e della presenza di acqua (*fig.7*). Questa massa in movimento ha le caratteristiche di un fluido ad elevata densità.
L'evoluzione del fenomeno dipende dalla maggiore o minore presenza di blocchi grossolani e dalla maggiore o minore saturazione d'acqua: si individuano così vere e proprie valanghe di roccia (rock avalanche) (*fig.8*) o flussi detritici (debris flow) ovvero flussi di fango o lave torrentizie (mud flow).
Questi fenomeni vanno generalmente ad alimentare il trasporto di materiale solido da parte di torrenti e fiumi ed è responsabile di notevoli fenomeni di dissesto delle sponde e del fondo degli alvei. L'instabilità delle sponde genera un continuo aumento dei materiali trasportati, andando ad incrementare ulteriormente la forza erosiva del corso d'acqua. L'abbassamento del fondo degli alvei può produrre lo scalzamento, la sottoescavazione e l'aggiramento delle difese spondali e degli attraversamenti (ponti, passerelle etc.).
La possibilità di intervento umano sul dissesto idrogeologico è sempre molto limitato, dato l'enorme squilibrio esistente tra l'entità delle sollecitazioni che la natura è in grado di mettere in campo e la resistenza che le tecniche di intervento possono opporre. Ad esempio è sufficiente che la superficie di scivolamento di un movimento franoso si trovi a profondità dell'ordine delle decine di metri o che i volumi di roccia instabile superino l'ordine di grandezza di qualche metro cubo, per evidenziare il limite tecnologico di tutte le opere usualmente utilizzate per le sistemazioni del territorio.

Il quadro dei dissesti precedentemente descritto può essere affrontato entro tali limiti con opere attive o passive di consolidamento, contenimento e difesa, realizzate con infrastrutture e manufatti in muratura o cemento armato e/o con sistemi di consolidamento che prevedono l'infissione di pali trivellati e tiranti.
In relazione alle dimensioni del fenomeno, all'intensità delle spinte in atto, alla natura dei terreni coinvolti, trovano applicazione le tecniche tradizionali o quelle di tipo naturalistico. (*fig.9 - tab I*)
Risulta evidente la maggior efficacia delle tecniche di Ingegneria Naturalistica per risolvere i fenomeni di instabilità delle porzioni più superficiali di terreno, dove risulta di maggior importanza nell'intervento:

- ottenere il massimo effetto drenante,
- impiegare opere relativamente leggere per non sovraccaricare il terreno,
- assicurare la massima protezione antierosiva.

Figura 8

Fig.8: evoluzione di un fenomeno franoso in un "flusso incanalato" (rock avalanche)

Figura 7

Fig.7: nicchia di distacco nella porzione sommitale di una frana

TABELLA I: CORRELAZIONE FRA LE PRINCIPALI TIPOLOGIE DI DISSESTO E LE PIU' IMPORTANTI TECNICHE DI INTERVENTO
(sono possibili integrazioni tra diverse tecniche tradizionali e naturalistiche)

Meccanismo di dissesto	Interventi di sistemazione con tecniche tradizionali	Sistemazioni con tecniche di Ingegneria Naturalistica	Altri interventi
Crolli in roccia	Interventi attivi (miglioramento della massa rocciosa): chiodature, tiranti Interventi passivi (difesa di infrastrutture): posa di barriere paramassi, gallerie artificiali	Interventi attivi (miglioramento della massa rocciosa): Reti metalliche con geosintetici antierosivi e rivegetazione Interventi passivi (difesa di infrastrutture): rilevati paramassi in terra rinforzata	Abbattimento e demolizioni di masse rocciose (disgaggi, riprofilatura pendii)
Ribaltamento di lastre e moli rocciose	Chiodature, tiranti, muri di sostegno	Sistemazione e rivegetazione del solo accumulo di frana	Riprofilature in roccia
Scivolamenti planari		Sistemi drenanti superficiali con tecniche naturalistiche	Trincee drenanti profonde, monitoraggio inclinometrico e piezometrico
Scivolamenti rotazionali	Muri di contenimento, anche con tiranti, consolidamenti mediante micropali	Palificate vive di sostegno scogliere di contenimento rivegetate , posa di antierosivi, ricostruzione pendii in terra rinforzata , rivegetazione della superficie risistemata	Rimodellamento versanti con riduzione della pendenza
Colate	Muri di contenimento	Palificate semplici, gradonate vive, inerbimento della superficie risistemata	
Colamenti rapidi di terreno saturo d'acqua		Geosintetici e fibre naturali con funzione antierosiva, palificate semplici, gradonate vive inerbimento della superficie risistemata	
Flussi incanalati	Briglie in c.a., briglie filtranti in c.a. o in massi cementati	Briglie in legname e pietrame Casse di laminazione e aree di invaso Rinaturalizzate Deviatori di valanghe di detriti in terra rinforzata	barriere in funi metalliche
Erosioni in scarpate	Muri di contenimento	Grate vive	Pannelli di rete armata a contatto + antierosivi e rivegetazione
Erosioni di sponda	Muri spondali, difese in massi cementati, gabbionate	Scogliere in massi rivegetate, rivegetazioni spondali, palificate vive di sostegno spondali	Allargamento della sezione di deflusso e opere di manutenzione spondale

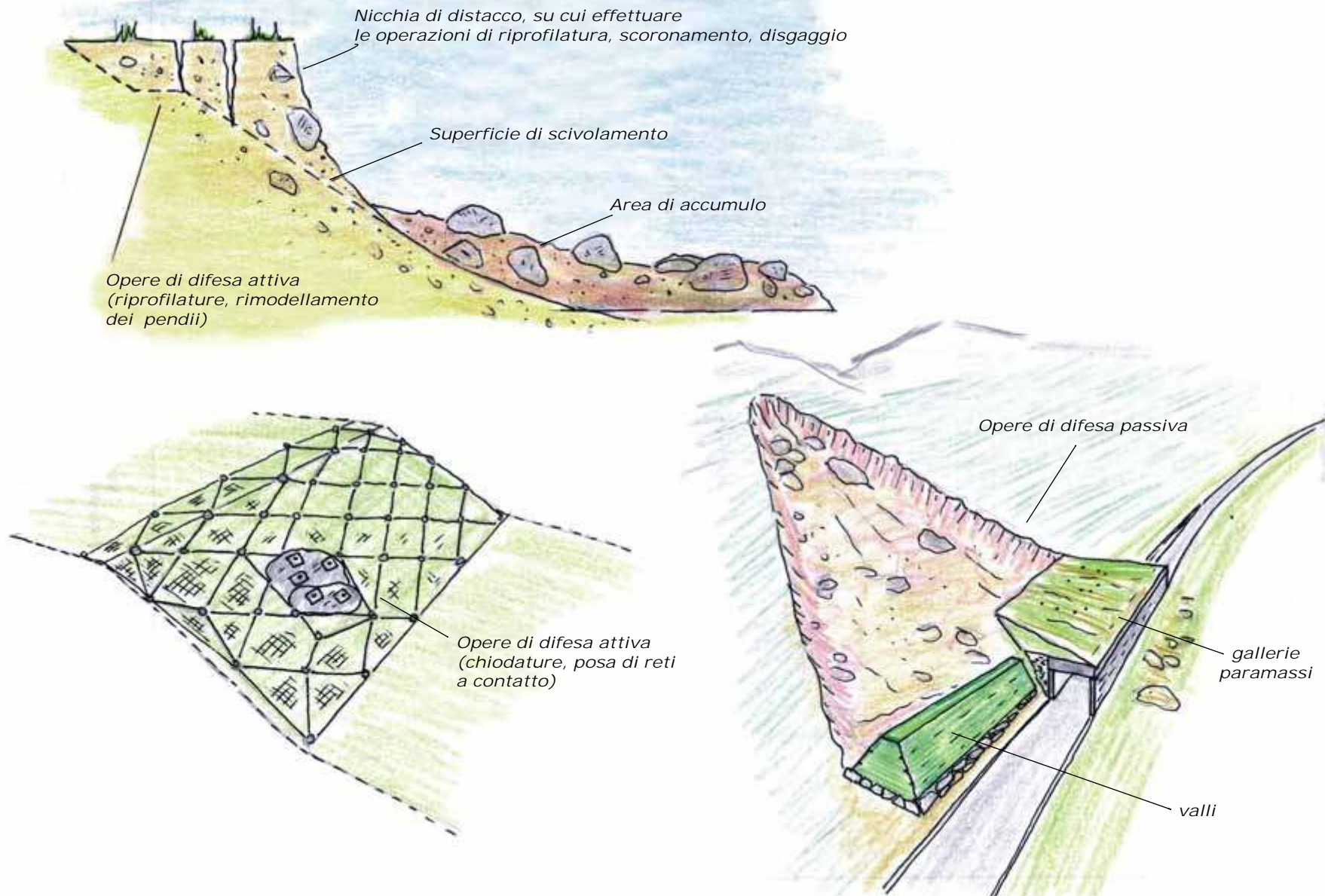



Figura 9 *Caratteristiche tipiche degli eventi franosi e delle opere di difesa attiva e passiva*

ambiti di intervento

Materiale vegetale vivo-
legname- pietrame-
materiali ferrosi
e geosintetici

I materiali normalmente utilizzati nei lavori con tecniche di Ingegneria Naturalistica sono:

- materiale vegetale vivo.
- legname
- pietrame
- materiali ferrosi
- geosintetici e fibre naturali

E' proprio il materiale vegetale vivo a caratterizzare la disciplina tecnica dell'Ingegneria Naturalistica.
Infatti, come già sottolineato, esso viene usato come materiale da costruzione, sia da solo che insieme ad altri materiali. Il suo impiego rappresenta quindi la struttura dell'opera, o fornisce comunque un importante contributo alla struttura delle opere in legname e/o pietrame.

Nelle opere più complesse la funzione strutturale viene per lo più svolta dal legname, sempre in associazione al materiale vivo. Quest'ultimo, nel trascorrere di alcuni decenni, va gradualmente e progressivamente con lo sviluppo e l'azione consolidante dell'appararato radicale a sostituire la funzione di sostegno e consolidamento del legno da costruzione, che si degrada, per l'azione combinata dei diversi fattori determinanti la sua alterazione (*fig.1*).

Il pietrame, i materiali ferrosi, i geosintetici e le fibre naturali, sotto forma di reti antierosive, svolgono funzioni complementari e trovano impiego nella costruzione e montaggio delle opere di Ingegneria Naturalistica.

MATERIALE VEGETALE VIVO

Ai fini della completa riuscita degli interventi di Ingegneria Naturalistica, la scelta, il corretto utilizzo e l'attecchimento del materiale vegetale vivo risultano essere di sostanziale importanza.
Devono quindi essere impiegate solo specie autoctone, cioè tipiche della vegetazione locale del luogo di intervento, evitando quindi l'introduzione di specie esotiche, che trasformerebbero le opere realizzate in fattori di inquinamento biologico.
Tra queste vanno scelte le specie aventi le migliori caratteristiche biotecniche, in particolare a più rapido sviluppo e con esteso e profondo apparato radicale.
Le attitudini biotecniche sono:

- la capacità di resistere a fenomeni franosi e all'erosione;
- la capacità di aggregare e consolidare superficialmente il terreno con lo sviluppo delle radici;
- la capacità delle radici di resistere allo strappo e al taglio;
- la capacità di drenare i terreni, assorbendo e traspirando l'acqua.

Il materiale vegetale, quanto più è in grado di resistere all'erosione e all'asportazione dovute a vari fattori, tanto più protegge il suolo dalla pioggia con la sua parte fuori terra e consolida, aggrega e drena il terreno con le radici.
Possiamo quindi stabilire dei criteri di scelta delle specie vegetali:

- appartenenza alla vegetazione locale (autoctona)
- rispetto delle caratteristiche ecologiche dell'area di intervento
- capacità di resistere ad avversità quali presenza o ristagno di acqua, forza erosiva del corso d'acqua, tempo di sommersione
- possesso delle necessarie caratteristiche biotecniche

L'obiettivo è quindi di favorire il più possibile la ricolonizzazione della zona di intervento da parte della vegetazione, imitando i processi della natura e accelerandone l'opera.

Figura 1

La rivegetazione può essere ottenuta impiegando:

- specie erbacee
- arbusti
- alberi

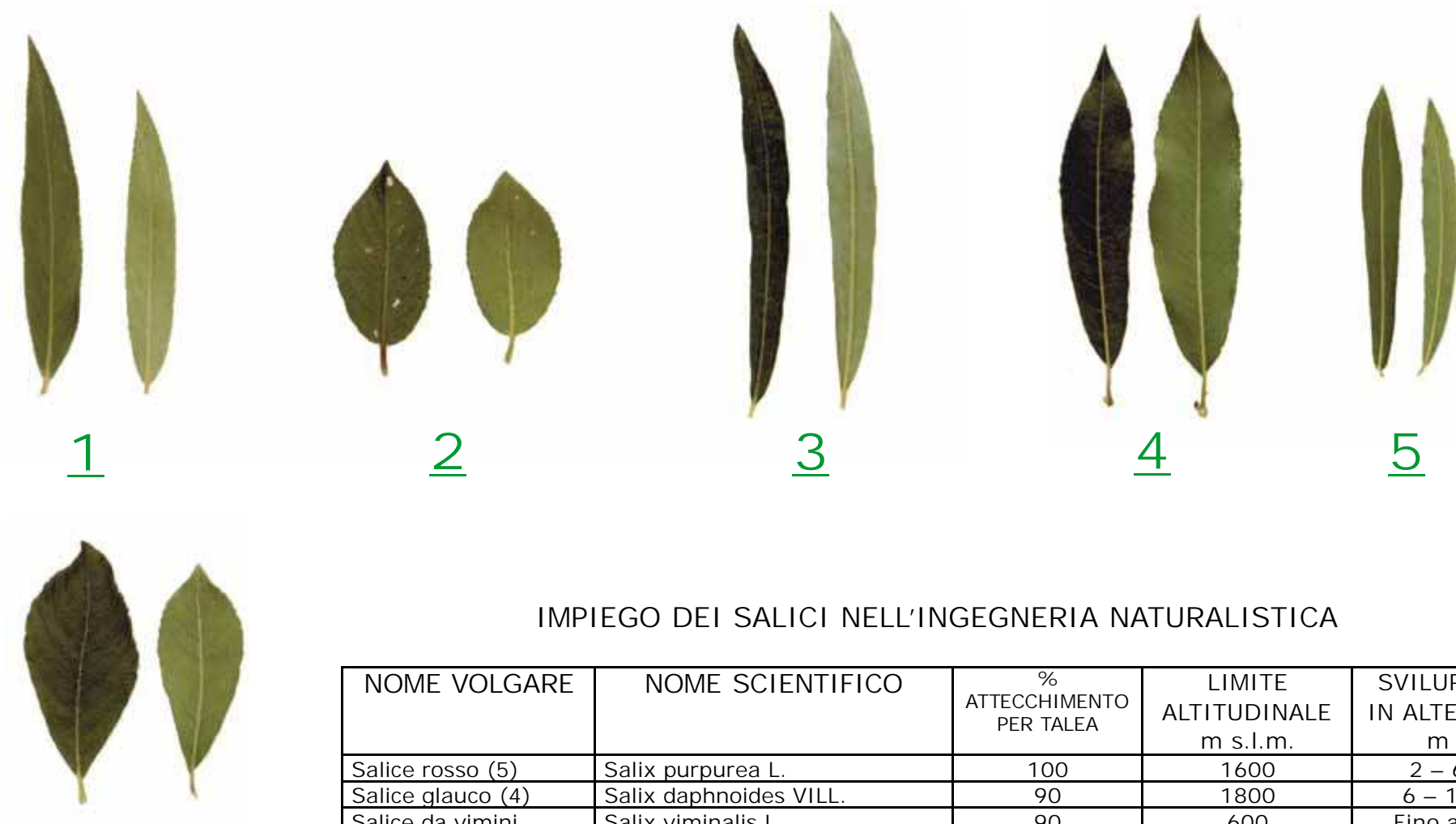
Nelle operazioni di consolidamento e stabilizzazione del suolo le specie più idonee sono generalmente legnose, con l'impiego di arbusti pionieri autoctoni: il loro apparato radicale è in grado di consolidare, in media, spessori dell'ordine di 1 - 2 m di terreno, oltre a svolgere una funzione di protezione antierosiva.
La protezione areale dall'erosione è inoltre efficacemente svolta dalla copertura erbacea. L'effetto combinato della cotica erbosa e della copertura arbustiva/arborea pioniera comporta anche il miglioramento del bilancio idrico del suolo.

Per determinare la scelta delle specie da impiegare sulla base delle varie situazioni di intervento è anche utile valutare:

- capacità di sviluppo radicale in presenza di acqua o in condizioni di aridità;
- grado di attecchimento;
- esigenze specifiche di acidità nel terreno;
- tendenza alla sciafilia (“ricerca dell'ombra”) o eliofilia (“ricerca della luce”).

Le specie erbacee vengono distribuite sul terreno impiegando miscugli composti da semi di generi diversi: esistono sul mercato ditte specializzate che riproducono a richiesta le composizioni specifiche ordinate dal cliente. Al tempo stesso, se è disponibile localmente del fieno ricco di seme (*fiorume*) da spargere sulle superfici da inerbire, i risultati ottenuti sono certamente i migliori, anche sotto il profilo ecologico.

Al fine della rivegetazione di siti che, a causa dell'uomo o della Natura, sono privi della copertura vegetale, è possibile intervenire anche con la messa a dimora di specie arbustive e arboree. L'impianto della vegetazione potrà essere eseguito con l'impiego di materiale vegetale proveniente da vivai; le piantine sono impiegate a radice nuda o sono dotate di un contenitore o di un pane di terra: il rapporto chioma/radici deve essere favorevole all'apparato radicale, che si deve presentare ben conformato, e il fusto deve essere ben lignificato. (*fig.2*)

Figura 2

In alternativa il futuro popolamento vegetale potrà essere ottenuto attraverso l'impiego di materiale non proveniente da seme, cioè talee, astoni, e ramaglia viva, generalmente prelevati direttamente in natura, anche dagli arbusti e dagli alberi vicini al luogo dell'intervento. Ricordiamo che la talea è un segmento di fusto separato dalla pianta madre, capace di produrre radici avventizie e di dare vita in breve tempo ad un altro esemplare completamente sviluppato. (*fig.3*)

La capacità di diffusione per talea è posseduta solo da alcune specie arbustive e arboree, generalmente rustiche e con grande capacità di adattamento, e quindi in grado di colonizzare anche suoli poveri di sostanze nutritive (specie pioniere) e di iniziare quei processi che permetteranno l'arrivo di altra vegetazione più evoluta. Al tempo stesso l'impiego di talee assicura, di norma, una più rapida copertura del suolo e quindi rende massimo l'effetto di consolidamento e regimazione delle acque superficiali. È evidente quindi che l'impiego contemporaneo di piantine e di talee rappresenta spesso la migliore soluzione, fermo restando la fondamentale importanza dell'utilizzo esclusivo di specie autoctone, cioè tipiche della vegetazione locale. (*Tab. II*)

Figura 3

TAB II: impiego dei salici nell'Ingegneria Naturalistica

IMPIEGO DEI SALICI NELL'INGEGNERIA NATURALISTICA

NOME VOLGARE	NOME SCIENTIFICO	% ATTECCHIMENTO PER TALEA	LIMITE ALTITUDINALE m s.l.m.	SVILUPPO IN ALTEZZA m
Salice rosso (5)	Salix purpurea L.	100	1600	2 – 6
Salice glauco (4)	Salix daphnoides VILL.	90	1800	6 – 10
Salice da vimini	Salix viminalis L.	90	600	Fino a 4
Salice cinerino (6)	Salix cinerea L.	75	1300	2 - 6
Salice nero (2)	Salix myrsinifolia SALISB.	75	1700	2 - 5
Salice bianco (1)	Salix alba L.	75	1000	Fino a 24
Salice eleagno (3)	Salix eleagnos SCOP.	70	1100	Fino a 10
Salicone*	Salix caprea L.	5	1300	Fino a 5

* l'impiego del "salicone" come talea è assolutamente sconsigliato.

LEGNAME

Il legname da costruzione impiegato nei lavori di Ingegneria Naturalistica è costituito da pali tondi scortecciati di specie di alberi con buona resistenza meccanica e durabilità, facilmente reperibili: nell'arco alpino queste caratteristiche si ritrovano esclusivamente nel tondame di larice o castagno.
Il diametro dei pali non deve essere inferiore ai venti centimetri: può essere impiegato tondame di minor diametro limitatamente ad alcune opere non aventi funzione di sostegno, mentre nelle opere in ambito idraulico si preferisce arrivare all'utilizzo di pali di diametro ancora più elevato (30 cm e oltre).
I pali devono essere sempre scortecciati per tutta la loro lunghezza e devono essere il più possibile rettilinei, con limitata conicità.
Non devono essere presenti difetti del fusto (*fig.4*), quali:

- eccentricità degli anelli di accrescimento;
- fessurazioni radiali;
- fessurazioni periferiche;
- callosità;
- cipollature;
- sinuosità del contorno;
- marcescenze ed evidenza di attacco da parte di parassiti.

Le caratteristiche di un buon legno da costruzione vanno analizzate essenzialmente in base ai seguenti parametri:

- peso specifico (massa volumica) ovvero densità del legno;
- resistenza del legno alle sollecitazioni (trazione, compressione, taglio, flessione);
- durabilità nel tempo.

Il peso specifico è dato dal rapporto tra la massa del legno in determinate condizioni di umidità e il suo volume geometrico.
La massa del legno cresce anche all'aumentare dell'umidità, finchè viene raggiunta la completa saturazione.
Considerando, a titolo di esempio, tre specie legnose molto comuni, si possono avere i seguenti valori (nelle medesime condizioni di umidità):

- abete bianco: 400-450 kg/m^3
- castagno, quercia: 700-750 kg/m^3
- larice: 700-750 kg/m^3
- pioppo: 330-350 kg/m^3

Le caratteristiche di resistenza meccanica alle sollecitazioni variano invece al variare della direzione della sollecitazione rispetto all'allineamento delle fibre, e sono riportate nelle seguenti tabelle III e IV, insieme alle caratteristiche di resistenza di alcune specie legnose all'attacco parassitario e alla relativa durabilità.

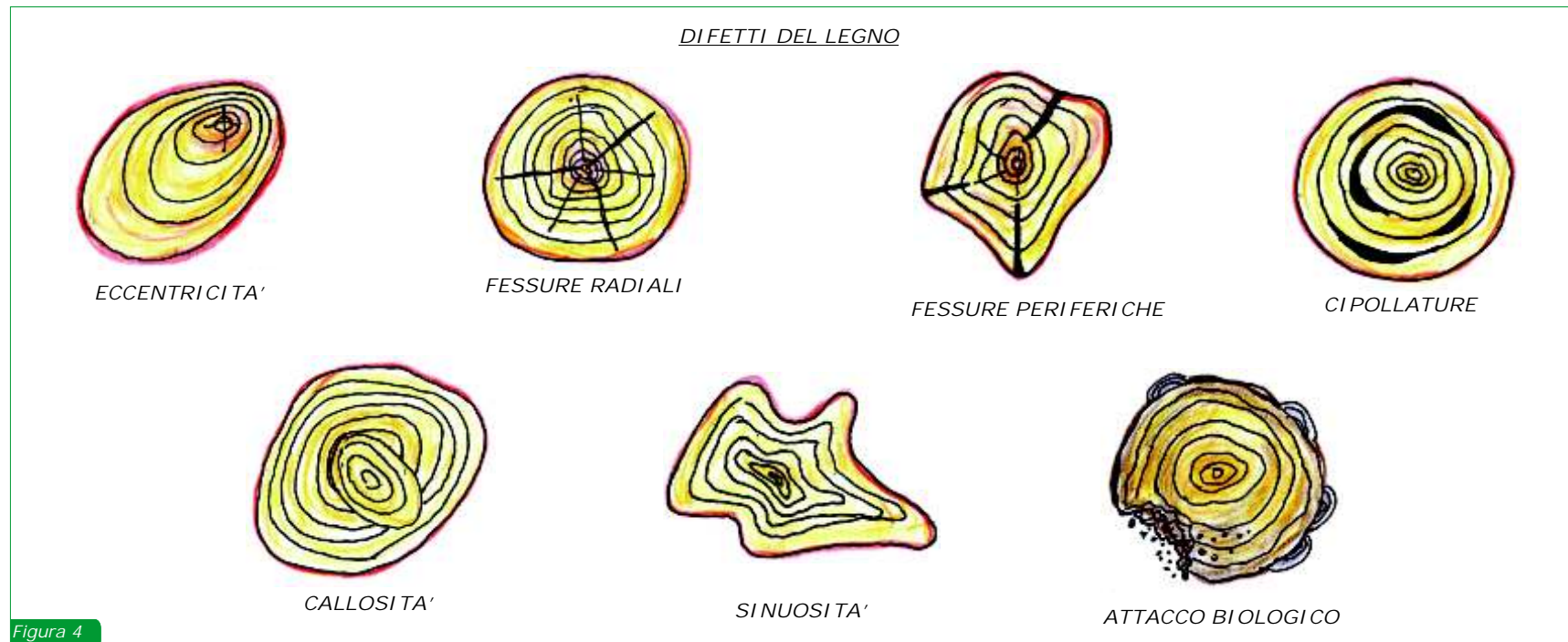



Figura 4

Figg. 5-6: il larice, insieme con il castagno, è una delle specie preferite per caratteristiche di resistenza, durabilità, buona conformazione del tronco e reperibilità, nell'impiego per la costruzione di opere di Ingegneria Naturalistica

TABELLA III: CARATTERISTICHE DI DURABILITA' DEL LEGNAME

Specie legnosa	Resistenza all'attacco di Funghi	Resistenza all'attacco di Insetti	Idoneità all'uso nelle opere di I.N.
Abete bianco	PD	NR	no
Abete rosso	PD	NR	no
Larice	ED	R	sì
Pino silvestre	D	NR	sì
Castagno	MD	R	sì

Durabilità naturale di vari legni e possibilità di impiego
PD = poco durabile;
D = durabile;
MD = molto durabile;
ED = estremamente durabile;
NR = non resistente;
R = resistente;
MR = molto resistente

[Tratto da: "Le opere in legno nella sistemazione dei torrenti montani", A.R.P.A.V. 2000, modificato]

TABELLA IV: FATTORI CHE RIDUCONO LA DURABILITA' DEL LEGNAME

Origine dell'alterazione	Tipo di degradazione	Effetti della degradazione
ABIOTICA (non dovuta ad organismi vivi)	Degradazione da agenti atmosferici	Degradazione e ossidazione del legname da radiazione solare
	Usura meccanica (azione dovuta a frane e correnti d'acqua)	Rottura degli elementi in legno ed erosione di frammenti di superficie
BIOTICA (dovuta ad organismi vivi)	Attacchi da animali con lesioni di tipo meccanico	Gallerie ed escavazioni da insetti
	Alterazioni e modificazioni di tipo strutturale	Alterazioni della parete cellulare provocata da Batteri. Carie provocate da Funghi

Figura 7

Figura 8

Figg. 7-8: degradazione del legname per attacco biotico

PIETRAME

Nei lavori di Ingegneria Naturalistica il pietrame può essere impiegato:

- per la costruzione di opere di contenimento o di difese spondali, in massi di cava o reperiti in alvei (scogliere rivegetate);
- come materiale per la fondazione di opere di sostegno o idrauliche;
- come materiale di riempimento di strutture in legname o di trincee scavate nei pendii, essenzialmente per incrementare la possibilità di drenaggio delle acque di infiltrazione.

Il reperimento del pietrame da utilizzare (generalmente ghiaie e ciottoli oppure massi) può avvenire sul luogo di cantiere, oppure dagli alvei di corsi d'acqua (dove sia praticabile e autorizzabile il prelievo) o da cave di prestito.

Occorrerà evitare l'utilizzo di materiali pietrosi non idonei, quali:

- pietrame serpentinoso con contenuto di amianto (nocivo per la salute);
- pietrame proveniente dalla demolizione di rocce molto tenere e fortemente fratturate (problemi di assestamento eccessivo del materiale di riempimento e di cattivo drenaggio e intasamento, con conseguente instabilità delle strutture);
- massi d'alveo troppo arrotondati e lisci, o di volume medio insufficiente (problemi di instabilità delle opere di difesa e sostegno): il volume medio dei massi da scogliera non deve essere inferiore a 0.3- 0.6 metri cubi.

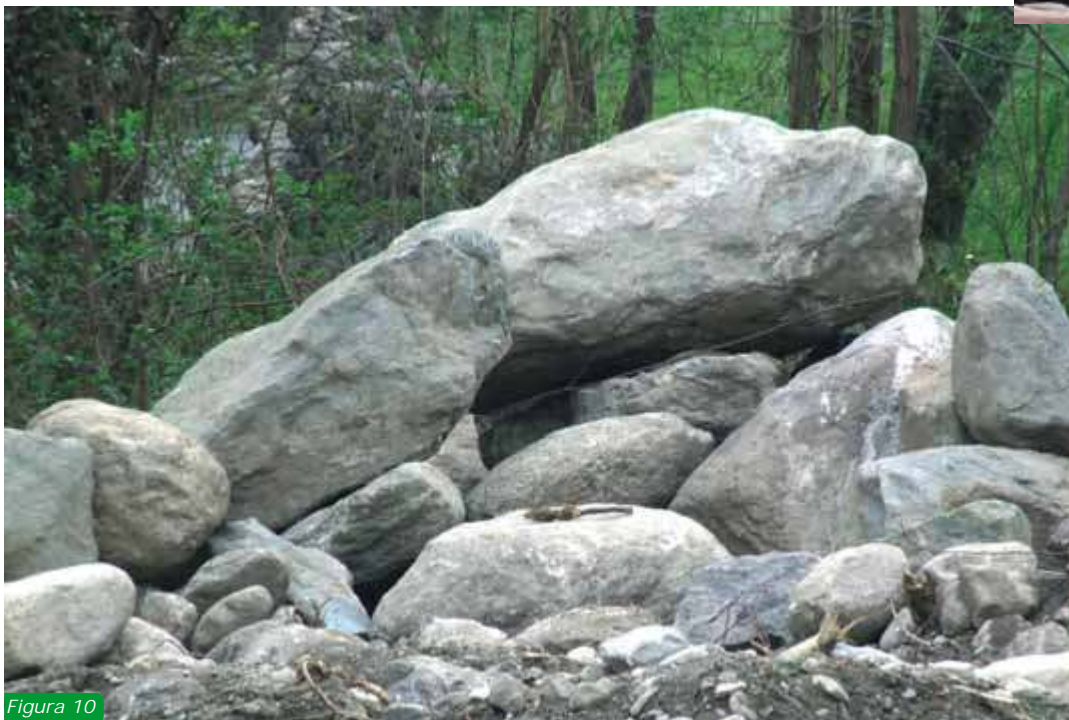



Figura 9

Fig.9: ciottolame di provenienza fluviale, di grosse dimensioni

Figura 10

Fig.10: massi d'alveo per la formazione di scogliere

MATERIALI FERROSI

Il ferro e l'acciaio vengono utilizzati come accessori essenziali nelle tecniche di Ingegneria Naturalistica, con particolare riferimento ai seguenti ambiti:

- giunzione di elementi strutturali nelle opere in legname (filo di ferro, chioderia, graffe, caviglie, bulloni ecc.).
- ancoraggio di strutture (tondini e barre ad aderenza migliorata, profilati e tubolari);
- rivestimenti di scarpate per la stabilizzazione superficiale (pannelli di reti e/o funi);

Nella costruzione delle opere in legname (palificate semplici, palificate vive di sostegno, briglie, grate vive ecc) è raro che vengano usati i prodotti tipici di ferramenta (chiodi, viti, bulloni) in quanto costosi e non idonei agli utilizzi dell'Ingegneria Naturalistica. Si impiega invece l'acciaio in barre ad aderenza migliorata di diametro generalmente di 10 12 mm, confezionando (anche in cantiere) chiodi della lunghezza necessaria e graffe (dette anche cambre o caviglie) attraverso il taglio, la piegatura e l'appuntitura.
Come sarà meglio specificato nelle parti del manuale dedicate alle tecniche costruttive, chiodi e cambre vengono applicati per battitura agli elementi sui quali si vuole realizzare la giunzione, previa esecuzione di un preforo con trapano o trivella, al fine di evitare danni al legname: le barre di acciaio utilizzate per le chiodature devono infatti attraversare per intero i diametri dei pali posti a contatto tra loro.
Per ancorare correttamente le strutture al suolo, evitando che queste possano scivolare lungo il piano di posa o ribaltare, si impiegano elementi di ancoraggio in legname o - più spesso - in metallo, a seconda del tipo di suolo e delle spinte che la struttura deve contrastare.
Il più semplice sistema di ancoraggio in acciaio è quello delle barre ad aderenza migliorata aventi grande diametro (da 20 a 32 mm), tipicamente utilizzate nei lavori civili per le armature del calcestruzzo. Occorre tener conto che l'infissione manuale di questi elementi con l'uso della mazza, risulta agevole solo in caso di terreni a granulometria fine e poco pietrosi, altrimenti occorrerà fare ricorso alla spinta di mezzi meccanici (miniescavatore) o alla trivellazione di un preforo.
A fronte del rischio di deformazione dell'ancoraggio in barre durante l'infissione è opportuno ricorrere all'utilizzo di profilati ad H.
I più elaborati tipi di ancoraggi sono i micropali, che vengono trivellati con apposite macchine perforatrici a rotazione e che sono in grado di penetrare quasi ogni genere di terreno consentendo anche di effettuare l'iniezione di malta cementizia.
Di solito le strutture in legname si appoggiano direttamente agli ancoraggi infissi al suolo, ma talvolta occorre utilizzare anche delle funi in acciaio per collegare le opere di Ingegneria Naturalistica ad ancoraggi infissi ad una certa distanza.
Le reti in acciaio a maglie esagonali o a maglie romboidali ad elevata resistenza sono usate per il rivestimento di scarpate e pendii, precedentemente rimodellati,. Le reti, poste a contatto con queste superfici, con buona aderenza e vincolate con barre e funi, sono in grado di stabilizzarle, trattenendo anche ciottolame e piccoli volumi di roccia. Le maglie di ancoraggio di questi pannelli di rete hanno dimensioni tipicamente variabili tra i 2m x 2m e i 3m x 3m.

Figura 11

Fig.11: graffe per l'ancoraggio di reti in fibra naturale

Figura 12

Fig.12: barra e graffa in tondino di acciaio ad aderenza migliorata per la giunzione di elementi strutturali in legname

Figura 13

Fig.13: barra di ancoraggio in una grata viva

Figura 14

Fig.14: graffa utilizzata in una giunzione ortogonale

Fig.15: posa di rete metallica a maglia esagonale

Figura 15

Figura 16

Fig.16: ancoraggio per rete a contatto armata con funi

Figura 17

Fig.17: ancoraggio di un'opera in legname (grata viva) mediante barre filettate tipo "diwidag" in foro intasato con malta cementizia

MATERIALI GEOSINTETICI

I geosintetici sono un'ampia famiglia di prodotti derivati dall'industria tessile, della gomma e delle materie plastiche e di materiali bituminosi.
Spesso le loro elevate prestazioni tecniche assicurano diverse azioni congiunte, in modo da far fronte in maniera specifica a differenti esigenze di impiego.
Negli interventi di Ingegneria Naturalistica l'uso di geosintetici svolge diverse funzioni: filtro, drenaggio, protezione dall'erosione, ma anche supporto allo sviluppo della vegetazione nella fase iniziale di crescita. Vasto è inoltre il campo di utilizzazione negli interventi di contenimento e stabilizzazione delle frane.
In linea generale, in base alla loro struttura e alle loro caratteristiche, i geosintetici possono essere in prima approssimazione suddivisi in:

- geotessili tessuti: materiali plastici in filamenti resistentissimi, intrecciati secondo una trama e un ordito, a costituire maglie molto fitte. Vengono impiegati per il rinforzo e per il miglioramento della capacità dei terreni a sopportare i carichi;
- geotessili non tessuti: materiali plastici in filamenti e fibre assemblate in modo caotico (da cui la denominazione di non-tessuti). La loro principale funzione è quella del drenaggio dei terreni, grazie alle buone caratteristiche di capacità filtrante della loro struttura;
- georeti e geogriglie: sono costituite da bandelle o nastri di materiale sintetico saldati tra loro in intrecci che presentano maglie molto più larghe, rispetto a quelle dei geotessili, pertanto vengono impiegate nel rinforzo dei terreni, con il vantaggio di agevolare la ripresa vegetativa;
- geomembrane: sono teli di materiale plastico (in genere polietilene) usati per l'impermeabilizzazione;
- biotessuti: sono materiali biologici (fibre naturali di cocco, agave o juta) intrecciati a costituire reti a maglie aperte. Biodegradabili, svolgono una funzione antierosiva e di supporto allo sviluppo della vegetazione. Le fibre di cocco sono quelle che presentano maggiore durabilità e resistenza.

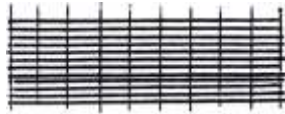
Figura 18

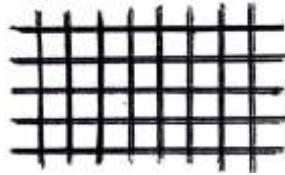
Fig.18: reti in fibra naturale di juta

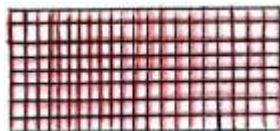
Per quanto attiene alle reti in fibra naturale, risulta evidente come - durante il delicato periodo che intercorre tra la fine dei lavori e l'affermazione della copertura vegetale - questi materiali, utilizzati a protezione di superfici in pendenza, frutto del rimodellamento della morfologia locale, costituiscano l'unica difesa del terreno dall'erosione superficiale a opera delle acque di pioggia e di ruscellamento.
Svolgono peraltro una efficace azione di ripartizione dei carichi su ampie superfici, in maniera analoga ad altri geosintetici (georeti, geotessili, geogriglie), seppure con parametri caratteristici inferiori. Nell'arco di alcune stagioni, con la degradazione delle fibre, l'efficacia di tali reti si riduce, ma viene progressivamente sostituita dallo sviluppo della vegetazione erbacea.
Proprio le fibre naturali rappresentano quindi il supporto ottimale allo sviluppo degli inerbimenti, incrementando la fertilità del terreno, trattenendone le particelle più fini e riducendo l'evaporazione idrica a vantaggio del mantenimento di condizioni microclimatiche più umide.

Figura 19

Fig.19: reti in fibra naturale di cocco (non ancora inerbita)

TAB V: RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA DEI PRINCIPALI GEOSINTETICI (schema semplificato)

GEOTESSILI TESSUTI: costituiti da resistentissime fibre sintetiche intrecciate con trama e ordito a costituire maglie molto fitte. Sono utilizzati per migliorare la capacità portante di sottofondi stradali e nel rinforzo dei terreni.

GEOTESSILI NON-TESSUTI: costituiti da fibre sintetiche assemblate in modo caotico, ma omogeneo. Hanno spiccate caratteristiche di miglioramento della capacità filtrante dei terreni.

GEORETI, GEOGRIGLIE: costituite da intrecci di nastri o bandelle saldate tra loro a formare teli resistentissimi a maglie aperte. Rinforzano i terreni consentendo la rivegetazione.

GEOMEMBRANE: teli in materiale sintetico per impermeabilizzazione

RETI IN FIBRA NATURALE: costituite da intrecci di fibre di juta, agave o cocco, formano teli regolari a maglie aperte, con funzione antierosiva e di supporto alla rivegetazione. Sono biodegradabili.

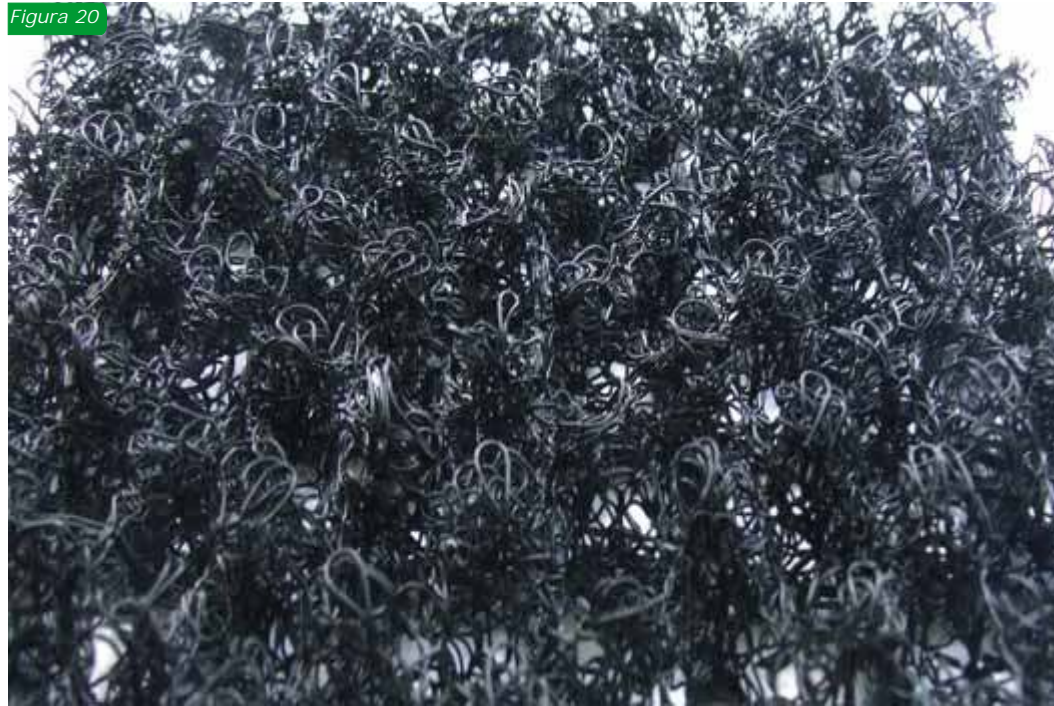



Figura 20

Figg. 20-21-22: geostuoia tridimensionale e suo impiego nella rinaturalizzazione di un versante

Figura 21

Figura 22

Figura 22

Fig. 23: geogriglia monodirezionale

Figura 24

Fig. 24: geotessile nontessuto

Figura 25

Fig. 25: geotessile tessuto

Figura 26

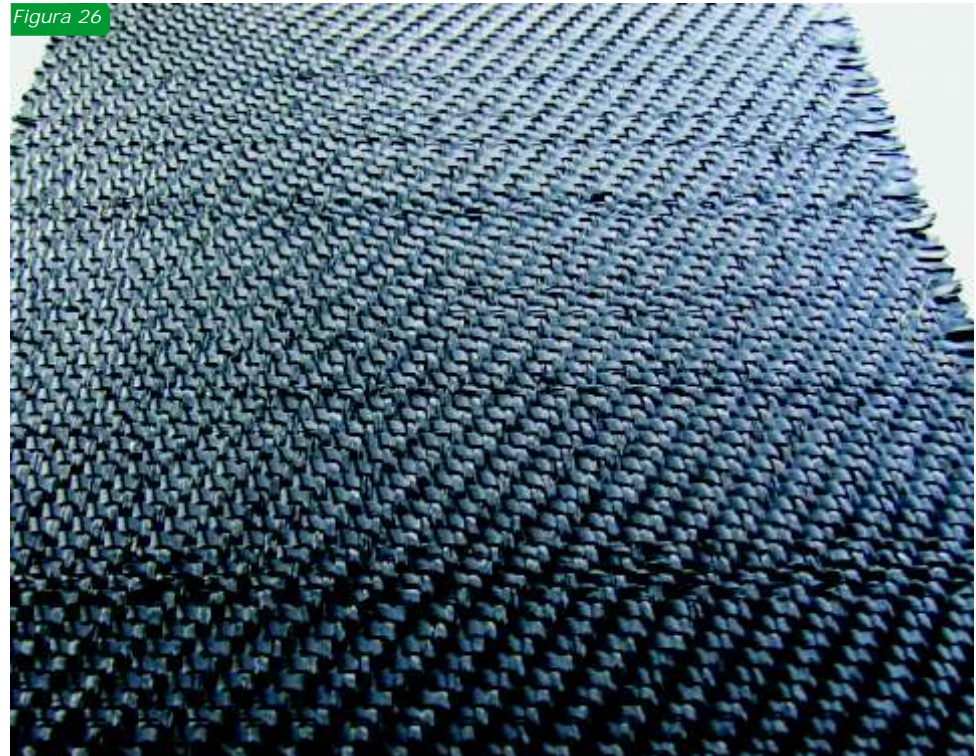



Fig. 26: geotessile tessuto

Macchine ed attrezzature da cantiere, lavorazioni, sicurezza ed ergonomia

Macchine per movimento terra

Le attività di escavazione prevedono l'utilizzo di una vasta gamma di macchinari per la movimentazione di terre e roccia:

- escavatori idraulici cingolati
- miniescavatori
- ragni meccanici
- pale caricatrici gommate
- terne gommate con retroescavatore
- minipale gommate (*skid loader*)

In ambito montano la movimentazione di massi d'alveo e di cava per sistemazioni idrauliche, il tracciamento di piste e la sistemazione di scarpate rappresenta il campo di utilizzo principale degli escavatori cingolati di potenza medio - elevata. Le potenze installate sono appunto dell'ordine di 115÷180 kW, con benna applicata a mezzi a due o tre bracci (*figg.1-2*).

Per l'impiego su versanti ripidi ed effettuare operazioni di profilatura e regolarizzazione, risultano preferibili mezzi aventi masse e ingombri minori. Nei lavori di Ingegneria Naturalistica vengono spesso utilizzati i miniescavatori (potenza 15÷30 kW, peso 1.5÷2.8 t, cilindrata 1.3÷2.5 l) che consentono:

- la realizzazione di banchine, tracciamenti e scavi a sezione ristretta anche dove lo spazio di manovra risulta assai scarso;
- l'applicazione di svariati utensili sul braccio quali il martellone idraulico, utilizzato per piccole demolizioni, ma anche per l'infissione di ancoraggi in legno o acciaio.

In luoghi di difficile accesso, a causa della forte pendenza del versante o privi di possibili piste, nonché per effettuare la pulizia di impluvi, canaloni o briglie, si ricorre all'impiego dei ragni meccanici (*figg.3-4*). Tali macchinari sono mezzi di scavo che, al posto dei cingoli, hanno come organi di movimento una coppia di ruote e una coppia di bracci meccanici, che consentono al mezzo di mantenere un assetto di lavoro pressochè orizzontale anche su forti pendenze. Il ragno può essere anche modificato per funzionare con 4 ruote motrici, e inoltre può essere ancorato a punti fissi (speroni di roccia, alberi o grandi massi) mediante cavi d'acciaio messi in trazione da un verricello.

Le pale caricatrici gommate vengono utilizzate in questo ambito quando è prevista una movimentazione di grandi masse di terra, in particolare nel modellamento di vaste superfici con riporto di materiale o nella realizzazione di grandi rilevati (*fig.5*).

Le terne gommate con retroescavatore (potenza 60 ÷ 80 kw, peso 7,5 ÷ 8,5 t, cilindrata 3,5 ÷ 5,8 l e capacità benna di 1,2 - 1,4 m^3) sono invece dotate di minore potenza e velocità operativa, ma notevolmente versatili (*fig.6*).

Altamente specializzate per il movimento terra in spazi ristretti sono le minipale gommate (*skid loader*): queste risultano inoltre molto utili nelle operazioni di riempimento e compattazione di palificate a doppia parete (*fig.7*).

Figura 1

Fig.1: escavatore in fase di caricamento su una rampa allestita con il materiale di scavo

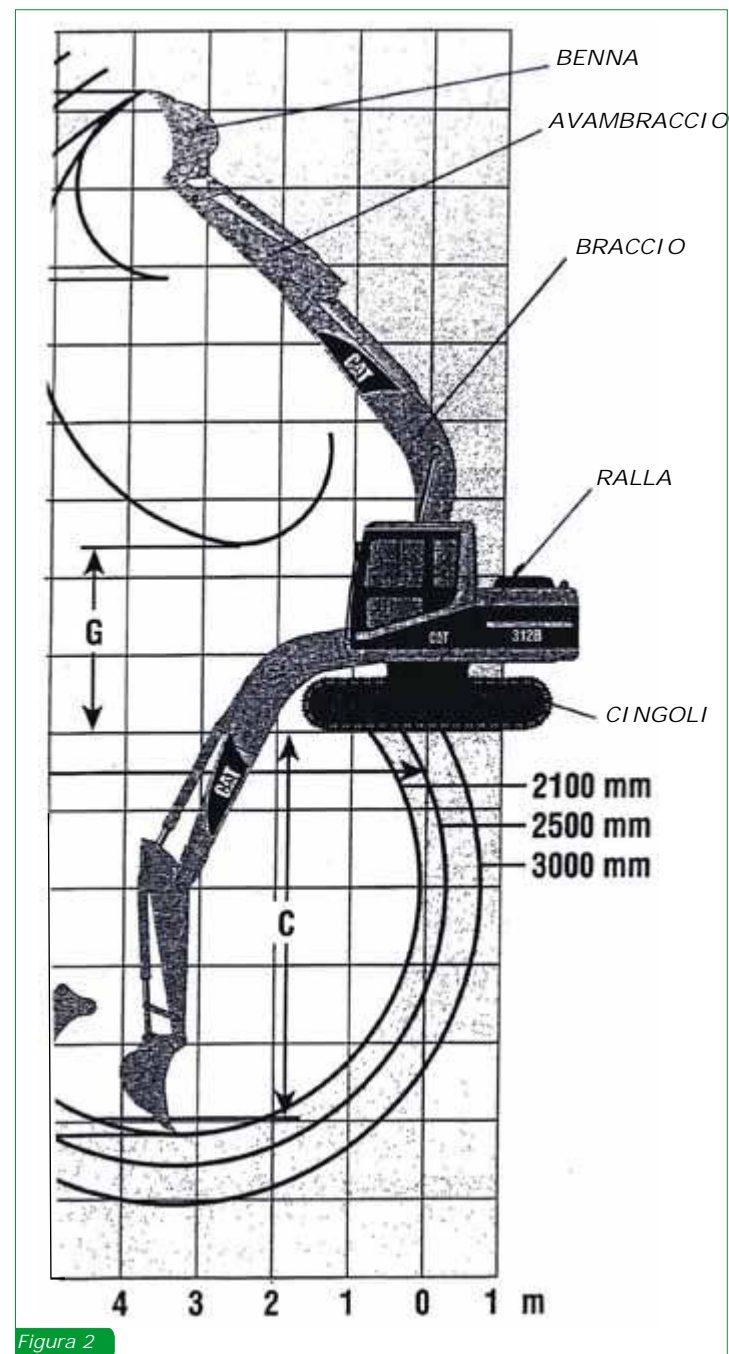



Figura 2

Fig.2: parti meccaniche di un escavatore cingolato

Figura 3

Fig.3: ragno meccanico impegnato in lavori di scavo su versanti ibridi

Figura 6

Fig.6: terna gommata con 4 ruote motrici sterzanti e benna autoscaricante

Figura 4

Fig.4: ragno meccanico dotato di avambraccio telescopico.
I bracci di traslazione sono anche dotati di ruote per più rapidi spostamenti al di fuori del punto di lavorazione

	Carreggiata	Larghezza esterno pneumatici	Luce libera da terra	Variazioni nelle dimensioni verticali
	mm	mm	mm	mm
15.5 - 25, 12 PR (L-2)	1800	2223	414	-42
17.5 - R25 (L-2)	1800	2258	456	–

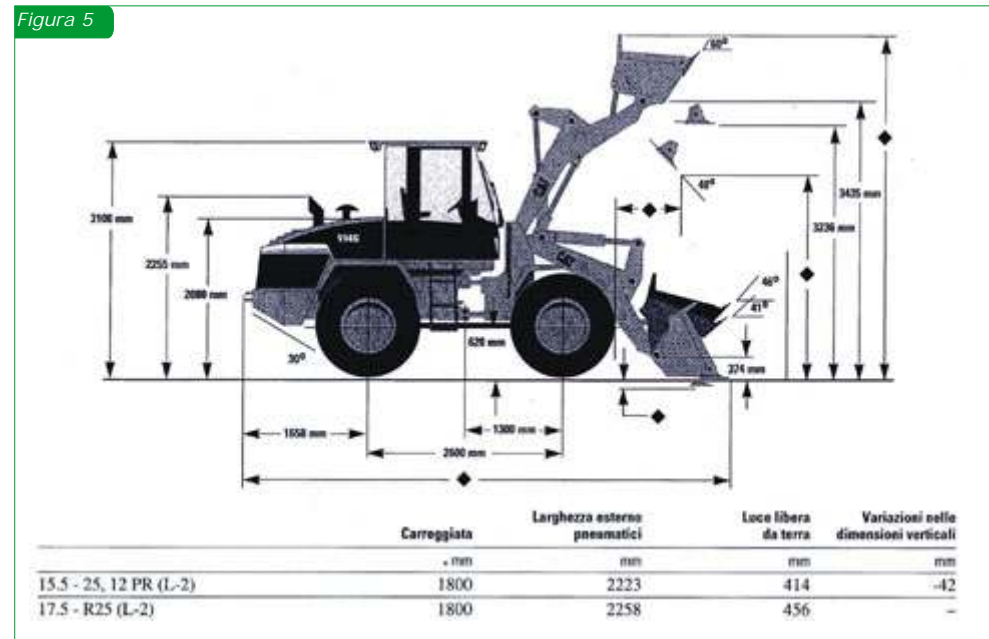



Figura 5

Fig.5: schema meccanico di pala caricatrice gommata

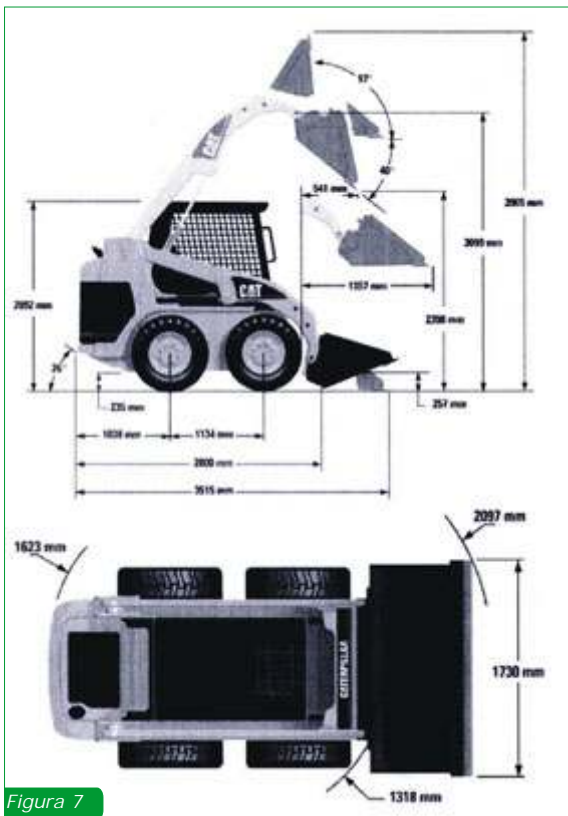



Figura 7

Fig.7: skid loader. Si noti la gabbia di protezione dell'operatore, che accede ai comandi del mezzo dalla parte anteriore. I pesi operativi sono dell'ordine di 3,2 t, la potenza installata dell'ordine di 60KW

Attrezzature per lavori forestali e manutenzione del verde

Le squadre addette alla selezione della vegetazione di sponde, corsi d'acqua e versanti utilizzano principalmente motoseghe di varia dimensione e potenza (*figg.15-16*).
Impiego collaterale hanno, in funzione dell'ambito e del tipo di lavorazione, altri utensili, quali:

- decespugliatori;
- falciatrici e tosaerba;
- tagliasiepi;

Attrezzature e macchinari per le costruzioni in legname e pietrame

Oltre alle macchine e alle attrezzature già descritte, nel cantiere di Ingegneria Naturalistica vengono anche impiegati frequentemente i seguenti equipaggiamenti, considerando che la maggior parte di questi cantieri viene installata in area montana e collinare, spesso con difficoltà di accesso e mancanza di allacciamenti per l'energia elettrica e l'acqua:

- motogeneratore
- trivella a rotazione
- motosega
- trapano a rotazione e percussione, elettrico o a motore (*fig.8*)
- verricello
- carriola
- motocarriola a cingoli
- trattore forestale con gru (*fig.17*)
- autocarro fuoristrada a 4 ruote motrici
- betoniera
- idroseminatrice (*fig.18*)
- scortecciatrice meccanica (*figg.10-11*)
- utensili manuali di taglio e potatura (cesoie, roncola, ascia, cunei ecc.) (*fig.13*)
- utensili manuali di scavo (pala, vanga, piccone, zappa)
- utensili manuali di percussione (martello, mazzetta, mazza), tesatura di cavi, taglio, molatura e piegatura ferri, spostamento legname (zappino).

Figura 8

Fig.8: trapano a rotazione, funzionante con motore a scoppio

Figura 10

Fig.10: motosega adattata a scortecciatrice meccanica

Figura 9

Fig.9: affilatura della punta del trapano

Fig.11: scortecciatrice meccanica

igura 13

Fig.13: utensili di taglio e potatura

Fig.14: trancia per ferri

Fig.12: lama per scortecciatura manuale

Figura 15

Figura 16

Figgs.15-16: utilizzo di motosega

Figura 17

Fig.17: trattore forestale

Figura 18

Fig.18: idroseminatrice leggera

INSTALLAZIONE DEL CANTIERE

Prima di dare inizio alla fase esecutiva occorre ispezionare i luoghi per prendere visione delle condizioni di lavoro.
L'esecutore dovrà assumere tutte le informazioni necessarie in merito alle opere da realizzare (con particolare riguardo alle dimensioni, alle caratteristiche e ai particolari costruttivi specifici, ai materiali da impiegare), nonché alla quantità, all'utilizzazione e all'effettiva disponibilità di acque per l'irrigazione e la manutenzione.
Deve essere aperta solo la viabilità di cantiere strettamente necessaria e occorre prevedere la realizzazione di opere per garantire la sua percorribilità, la stabilità delle superfici e il drenaggio delle acque superficiali.
Va considerato l'utilizzo di mezzi già citati come il ragno, che non ha bisogno di viabilità; è necessario pensare anche al ripristino e sistemazione di eventuali vie di accesso aperte con il cantiere, affinché non siano causa di dissesto idrogeologico e degrado ambientale.
I lavori di abbattimento o estirpamento di alberi e arbusti devono essere condotti in modo da evitare ogni danno alla vegetazione da conservare e dovranno essere preceduti da eventuali operazioni di "martellata forestale" secondo la vigente normativa.
Procedendo con i lavori di sistemazione e le operazioni di messa a dimora, occorre effettuare una pulizia del terreno da tutti i materiali di risulta e rifiuto presenti sull'area, che dovranno essere allontanati dal cantiere e portati alla discarica pubblica o su aree appositamente predisposte.
Nelle operazioni di scavo preliminare, è opportuno l'accantonamento della terra di scotico, vale a dire l'asportazione dello strato superficiale di terreno e il suo stoccaggio provvisorio per il futuro reimpiego. Al fine di contenere lo sviluppo di specie infestanti e mantenere le condizioni di fertilità, i depositi di terra possono essere inerbiti con la semina di adatti miscugli di specie erbacee e irrigati nelle stagioni siccitose.
In merito all'approvvigionamento di acqua, prima di effettuare la messa a dimora della vegetazione, occorre accertarsi della non tossicità dell'acqua fornita e dell'esistenza di adeguate fonti alternative (opere di presa, sorgenti, bacini di raccolta o corsi di acque naturali, ecc.) da cui, in caso di necessità (irrigazioni di soccorso nei periodi di siccità), si possa attingere, provvedendo a trasportare l'acqua necessaria all'innaffiamento tramite autocisterne o altri mezzi sul luogo della sistemazione.

SCAVI

Relativamente agli scavi, possiamo dire che l'asportazione di materiali che derivano da fenomeni di frana può comportare rischi per la presenza di masse instabili al di sopra dell'area di cantiere, e pertanto deve essere eseguita con attenzione.
Gli scavi di sistemazione fanno parte di quelle operazioni preliminari necessarie sia per la messa in sicurezza del cantiere da ulteriori dissesti, sia per la realizzazione dei lavori previsti e per la riuscita nel tempo delle opere stesse.
Tali operazioni consistono nella riprofilatura e rimodellamento di versanti e scarpate che sono stati oggetto di eventi franosi (*fig.19*) e nel consolidamento di quelle porzioni di roccia o terreno instabile che non possono essere ulteriormente asportate.
Gli interventi di sistemazione delle superfici in pendenza devono raggiungere un aspetto finale dei luoghi che rappresenti anche la soluzione più stabile.
Il rimodellamento dei pendii franosi deve essere sempre previsto, mediante operazioni di scavo e riporto (asportazione del ciglio di frana, ripristino della pendenza media compatibile con le esigenze di sicurezza), utilizzando mezzi come gli escavatori cingolati, i ragni meccanici, nonchè i mezzi manuali e personale specializzato (rocciatori - disgaggiatori). La riprofilatura del versante può avvenire ingenere mediante una compensazione di scavo e riporto ottenuta attraverso l'asportazione della "*corona*" instabile della frana e la ricolmatura della zona sottostante.
Quando i fenomeni di instabilità interessano versanti rocciosi, ovvero si ha a che fare con problemi di crolli in roccia o di distacco e rotolamento massi, le operazioni di sistemazione possono prevedere il disgaggio manuale o meccanico di blocchi di roccia.
L'asportazione di materiale (terra e blocchi rocciosi) da versanti detritici deve, per quanto possibile, avvenire con andamento discendente, dalla sommità verso il basso.
Di norma si procede con la realizzazione di

Figura 19

Fig.19: disgaggio manuale di masse rocciose e terreno instabile

rampe, per mezzo di escavatore cingolato, per raggiungere il limite superiore della frana. In aree di difficile accesso si può ricorrere a mezzi più leggeri, anche trasportati con elicottero (*fig.20*).
Unitamente alle operazioni di movimento terra sui versanti, spesso risulta necessario procedere alla messa in sicurezza di blocchi, lastre rocciose e scarpate mediante chiodature, funi e reti metalliche.
A scavo terminato le superfici pianeggianti ricavate devono essere continue, senza affossamenti o rilievi, modellate con le pendenze necessarie allo scolo delle acque. Il raccordo con il suolo va realizzato escludendo rotture di pendenza e ristagni idrici (*figg.21-22*).
Le caratteristiche della terra agraria di provenienza esterna devono essere adatte alla natura dell'opera, tener conto della condizioni locali e permettere lo sviluppo del materiale vegetale messo a dimora.
Importante risulta essere l'allontanamento di acque: infatti, prima di procedere ad ogni tipo di lavorazione, occorre rilevare l'eventuale presenza di "*venute*" d'acqua dai versanti o di fenomeni di ristagno nelle porzioni pianeggianti dell'area di intervento. Nel corso degli scavi e della posa in opera di manufatti di sostegno non dovranno essere sepolte o chiuse tali risorgenze, ma occorrerà procedere a drenare il terreno e a convogliare le acque a zone già in grado di riceverle naturalmente, per scaricarle senza danni nei corsi d'acqua.
La mancata osservanza di queste precauzioni può determinare seri problemi sia all'attecchimento di alcune tipologie di materiale vegetale sia alla stabilità delle costruzioni. Si ricorda che l'acqua è il principale elemento di destabilizzazione e modificazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni.

Figura 20

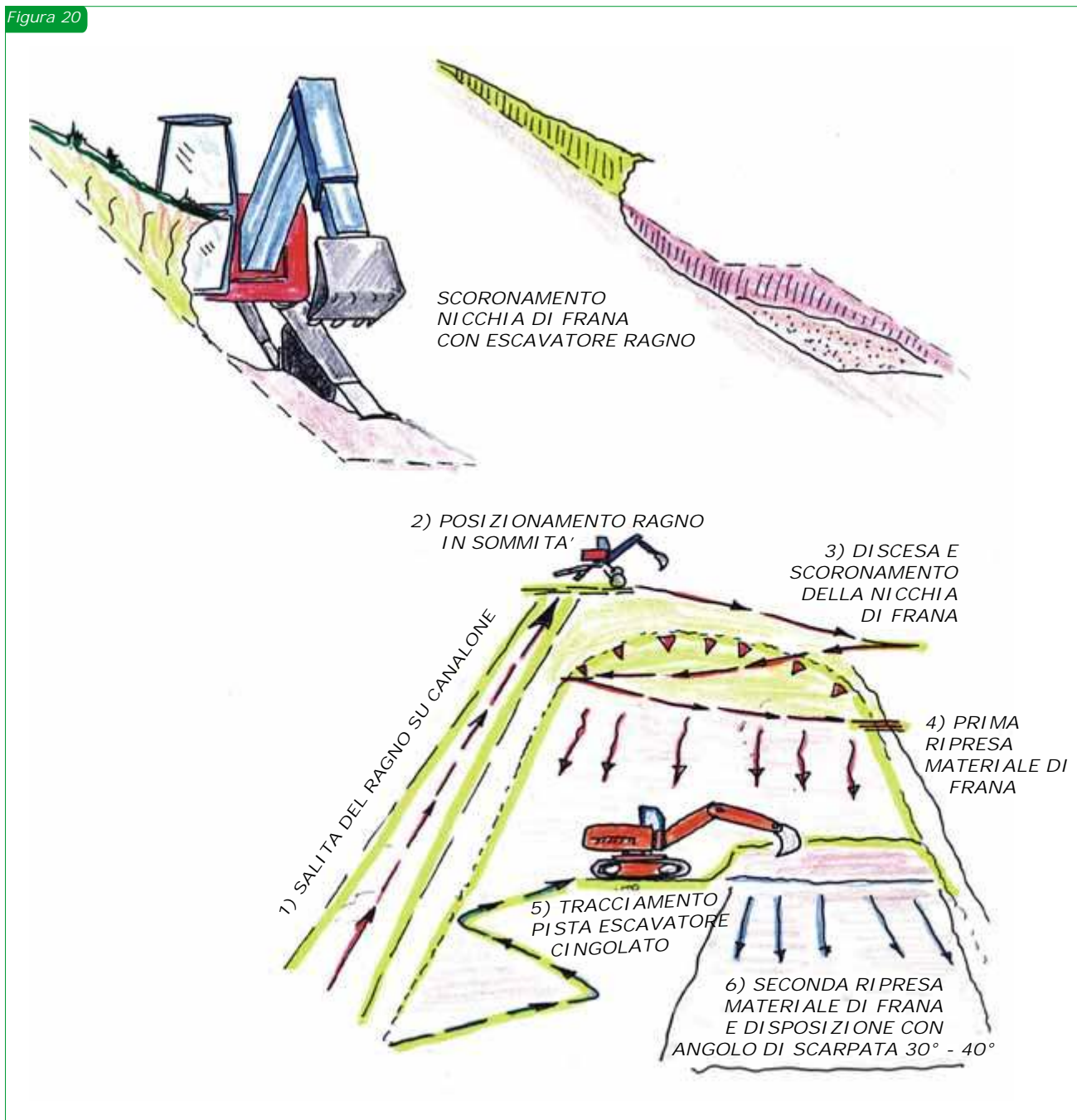



Fig.20: schema di intervento di rimodellamenti e riprofilature di versanti

Figura 21

Figg.21-22: vasta operazione di movimentazione di terra, massi d'alveo e massi di cava, per la realizzazione di un'area nella quale il torrente può espandersi, dissipando la sua energia. Grande cura è stata dedicata alla sistemazione delle superfici ed agli inerbimenti.

Fig.23: movimentazione di grandi massi di cava con escavatore cingolato, nella ricostruzione di un versante franato

SICUREZZA ED ERGONOMIA

Le analisi delle situazioni di pericolo devono sempre essere messe in relazione con le attività di cantiere, tenendo conto che le problematiche di sicurezza sono legate all'ambiente esterno di lavoro, al numero di persone coinvolte nelle attività e al tipo di operazioni da svolgere.

Le squadre impegnate in un cantiere di Ingegneria Naturalistica possono essere costituite, nell'ambito degli operai forestali, da figure professionali quali:

- addetti ad impianti di sollevamento a fune e oleodinamici
- conducenti di mezzi di cantiere
- manovali
- motoseghisti
- muratori
- rocciatori e disgaggiatori.

Il ciclo dei lavori in un cantiere di Ingegneria Naturalistica - in alveo e/o su versante - prevede, a seconda degli ambiti, le operazioni di:

- taglio della vegetazione (impiego di motosega, decespugliatore, utensili da taglio)
- lavori di disgaggio manuale (impiego di utensili manuali e attrezzatura professionale idonea a lavori in esposizione)
- scavo e profilatura con mezzi manuali e meccanici (impiego di utensili manuali e di escavatore cingolato o ragno meccanico)
- movimentazione di materiale con sbancamenti e scavi a sezione ristretta (impiego di escavatore e di utensili manuali)
- trasporto a discarica dei materiali di risulta (impiego di pala caricatrice e utensili manuali, motocarriola e autocarro)
- approvvigionamento e movimentazione di carichi sui versanti (impiego di gru a cavo, verricelli, elicottero) (*figg.24-25*)
- movimentazione manuale di pali in legname per le operazioni di carico e scarico, di scortecciatura, di taglio e montaggio delle strutture
- taglio piegatura e preparazione di barre metalliche
- impiego di chioderia varia (montaggio delle strutture)
- utilizzo di utensili manuali (montaggio delle strutture e rivegetazione)
- utilizzo di utensili elettrici e a motore (montaggio delle strutture)
- lavorazioni accessorie manuali o meccaniche quali il riempimento delle strutture con materiale drenante, il ricoprimento con terra (carriola, motocarriola, dumper, pala caricatrice) e la rivegetazione (impiego di idroseminatrice e utensili manuali per la messa a dimora)
- eventuale abbruciamento dei residui vegetali (impiego probabile di combustibili)

In tutte queste lavorazioni, il movimento di macchine operatrici determina situazioni di pericolo per:

- la possibile interferenza tra le macchine
- il possibile ribaltamento di mezzi in manovra
- la possibile interferenza tra le macchine e gli operai che possono venirsi a trovare nel loro raggio di azione
- la presenza di acqua in alveo, che aumenta la pericolosità di queste lavorazioni, anche in conseguenza di eventi esterni che possono determinare brusche variazioni del livello delle acque nell'intorno del cantiere
- la possibilità di rotolamento, da pendii o sponde, di masse movimentate
- la possibilità di rotolamento , da pendii o sponde, di macchinari posti in situazioni instabili
- la caduta di materiale, o la rottura di funi, nella movimentazione di carichi sospesi.

Tutti i macchinari, i mezzi semoventi ausiliari ed i loro carichi, nonché gli utensili da taglio possono costituire fonti di pericolo, ma anche la manipolazione di prodotti chimici, di carburanti, di utensili elettrici e di rifiuti deve essere condotta avendo ben presente il rispetto delle norme di sicurezza e la protezione individuale (*figg.26-27-28*).

Per quanto attiene alle problematiche di sicurezza nell'utilizzo di tutte le attrezzature e macchinari forestali si rimanda alla attenta lettura della documentazione già predisposta dalla Regione Piemonte, con la pubblicazione del testo "*Interventi di sistemazione del territorio con tecniche di Ingegneria Naturalistica*" e del "*Manuale del Boscaiolo*".

Figura 24

Figura 25

TAB.VI: RISCHI, PREVENZIONE E PROTEZIONE

RISCHI EVIDENZIATI DALL'ANALISI DEI PERICOLI E DELLE SITUAZIONI PERICOLOSE DURANTE IL LAVORO

- Tagli e abrasioni
- Rumore
- Proiezione schegge
- Incendio
- Pericoli esterni: cedimento di sostegni, funi, appoggi, materiali su cui si effettua la lavorazione

MISURE DI PREVENZIONE E ISTRUZIONI PER GLI ADDETTI

Prima dell'uso

- Verificare l'integrità della protezione per le mani
- Verificare il funzionamento dei dispositivi di accensione e arresto
- Controllare il dispositivo di funzionamento ad uomo presente
- Verificare la tensione e l'integrità della catena della motosega, e degli organi di lavorazione per gli altri utensili
- Verificare il livello del lubrificante specifico per la catena della motosega
- Segnalare la zona di intervento esposta a livello di rumorosità eleveto
- Verificare che le altre persone siano a distanza di sicurezza

Durante l'uso

- Eseguire il lavoro in condizioni di stabilità adeguata
- Controllare che altri operatori non si portino a interferire pericolosamente con la propria lavorazione
- Non manomettere le protezioni
- Spegnere l'utensile nelle pause di lavoro
- Non eseguire le operazioni di pulizia con organi in movimento
- Evitare il rifornimento di carburante col motore in funzione e non fumare

Dopo l'uso

- Pulire la macchina
- Controllare l'integrità dell'organo lavoratore
- Provvedere alla registrazione e alla lubrificazione dell'utensile
- Segnalare eventuali malfunzionamenti

DISPOSITIVI DI PROTEZIONE INDIVIDUALE

- Guanti
- Occhiali e visiera
- Calzature di sicurezza
- Vestiario di sicurezza
- Protettori auricolari
- Elmetto

Figura 26 *DISPOSITIVI DI PROTEZIONE INDIVIDUALE*

GIACCHE
(norma CEN di riferimento EN 381-1)
Devono essere indumenti aderenti ma non rigidi, confezionati con materiali impermeabili e traspiranti e dotati di inserti, su spalle e braccia, di colori facilmente visibili in bosco (arancione, giallo, rosso).

CASCHI
(norma CEN di riferimento EN 397)
Prodotti prevalentemente in materiale plastico fotodegradabile (es. Nylon, polietilene, ecc.), è consigliabile sostituirli in media ogni 4 anni. Devono avere colori sgargianti (arancione, giallo, rosso) ed essere provvisti di: cuffie antirumore, canaletta centrale per eliminare l'acqua piovana, fascia interna in teflon e fori di areazione.

CUFFIE E INSERTI ANTIRUMORE
(norme CEN di riferimento EN 352 e EN 458)
Le cuffie devono avere: le coppe di protezione regolabili, i cuscinetti auricolari rovesciabili e soffici per favorire l'adattamento alla testa dell'operatore.
Gli inserti auricolari possono essere multiuso (gomma, plastica morbida ecc.), disponibili in diverse misure, o monouso, in lanapiuma.

VISIERE, OCCHIALI
(norma CEN di riferimento EN 166)
Le visiere possono essere in plastica trasparente antiriflesso, in rete di Nylon o metalliche.
Gli occhiali devono essere dotati di protezioni laterali o di montature avvolgenti, con lenti otticamente neutre e devono sempre permettere un ampio campo visivo.

GUANTI ANTITAGLIO
(norma CEN di riferimento EN 388)
I comuni guanti da lavoro in bosco sono in cuoio, rinforzati nella parte interna della mano. In funzione del tipo di lavoro, però, in commercio possiamo trovare altri tipi di guanti:

- per motoseghisti, con polsini elastici e imbottitura antitaglio sul dorso della mano
- per teleferisti, trattati al cromo e capaci di resistere ai fili rotti dei trefoli delle funi
- antiscivolo, guanti multiuso rinforzati che permettono una buona presa e resistono alle perforazioni

PANTALONI, SALOPETTE E GAMBALI
(norma CEN di riferimento EN 381-1)
Quelli specifici per i lavoratori con la motosega devono essere muniti di imbottiture di sicurezza composte da più stradi di stoffa o da un insieme di filamenti in materiale sintetico. E' importante che l'imbottitura rivesta almeno la parte anteriore ed interna del pantalone (protezione a 180°), meglio se si estendesse per tutto il girocoscia (360°).

STIVALI E SCARPONI
(norma CEN di riferimento EN 345)
Gli stivali devono essere: alti, provvisti di un puntale d'acciaio, in grado di sopportare pesi statici pari a 1500 Kg (15 kN), dotati di una calotta salvacalcagno, di una suola antisdrucciolo;
gli scarponi devono poter essere sganciati velocemente in caso di infortunio.

Figura 28

Figg.27-28: esecuzione di lavorazioni su pendii ripidi: il personale è vincolato da funi

Figura 29

Fig.29: regole elementari di sicurezza

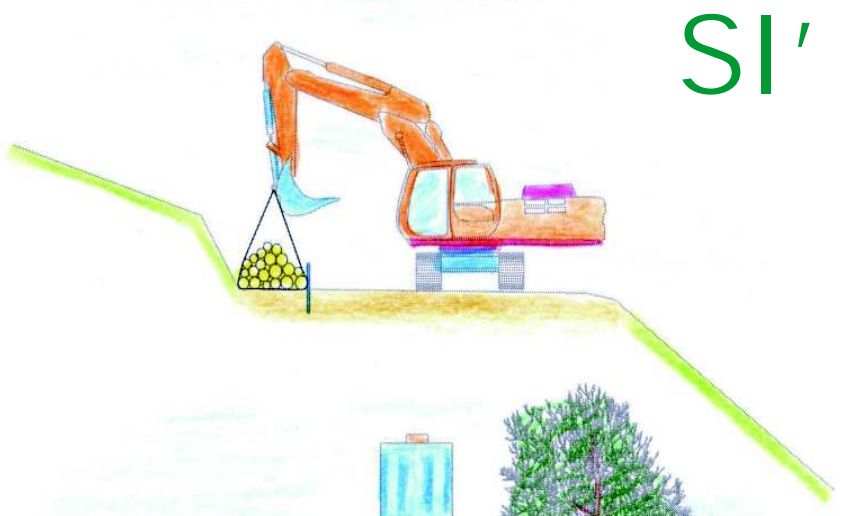
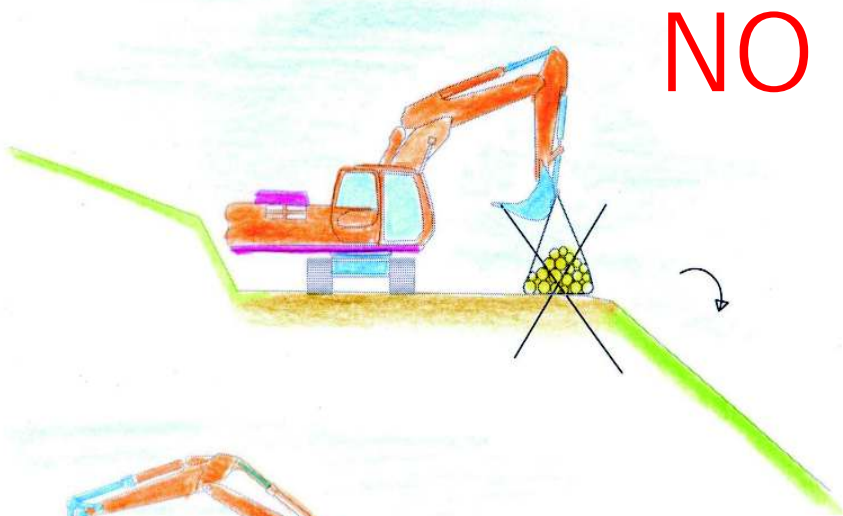
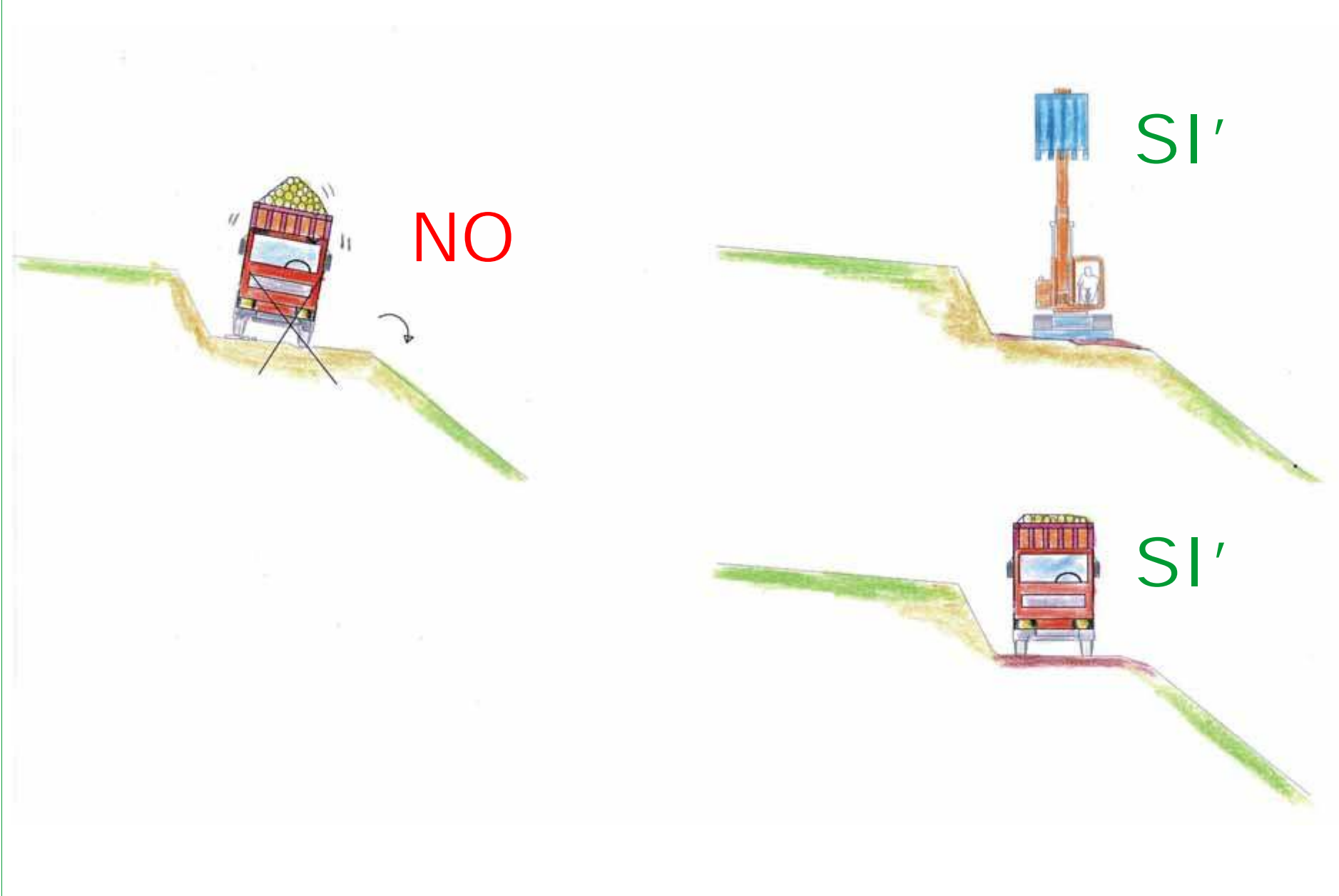
Figura 30
CADUTA MATERIALI DALL'ALTO
NO
SI'
NO
SI'
STRUTTURA
DA COSTRUIRE

igura 31

Figura 32

Fig.32: in cantiere deve essere disponibile e pronta all'uso la dotazione antincendio e di pronto soccorso

*Fig.33: il cantiere deve essere perimetrato con recinzione idonea.
Chi è autorizzato ad accedere deve comunque essere munito dei dispositivi di protezione individuale (DPI)*

Figura 33

Figura 34

Fig.34: l'area di cantiere è riservata agli operatori. Una chiara ed immediata segnalazione può evitare gravi incidenti

Figura 35

Figura 36

Figg.35-36-37-38: oltre ai dispositivi di protezione individuale (DPI: occhiali, casco con visiera e cuffie antirumore, guanti, indumenti antitaglio e calzature di sicurezza) vi sono altre importanti dotazioni, quali carrucola di rinvio, cinghie e funi, imbracature, moschettoni e dispositivi che consentono di operare su pendii molto scoscesi in totale sicurezza, movimentando materiali e attrezzature senza eccessivo sforzo.

Figura 37

Figura 38

ACCENSIONE ED USO DELLA MOTOSEGA

NON COSI'...

NO

POSTURA SCORRETTA

POSIZIONE INSTABILE

DPI MANCANTI

NO

...MA COSI'

SI'

DISTANZA CORRETTA DALL'OPERATORE

POSTURA CORRETTA

ATTREZZI PER STABILIZZARE IL TAGLIO

DPI COMPLETI

SI'

In queste immagini istruttori ed allievi in cantiere didattico hanno rappresentato ed evidenziato le modalità scorrette con le quali può essere eseguita una lavorazione

UTILIZZO DEL TRAPANO A MOTORE

NON COSI'...

POSTURA SCORRETTA
DELL'OPERATORE SINGOLO

PALO TRATTENUTO
CON UN PIEDE

DPI NON IN USO

PALO TRATTENUTO POCO EFFICACEMENTE:
PROBLEMI DI VIBRAZIONE

...MA COSI'

POSTURA CORRETTA

LAVORAZIONE STABILE

DPI IN USO

PALO BEN VINCOLATO
CON CAMBRA
PROVVISORIA

In queste immagini istruttori ed allievi in cantiere didattico hanno rappresentato ed evidenziato le modalità scorrette con le quali può essere eseguita una lavorazione

GIUNZIONE DI PALI IN LEGNAME

NON COSI'...

GIUNZIONE IN POSIZIONE INSTABILE

OPERATORE ALLINEATO ALLA TRAIETTORIA DEI MEZZI

POSIZIONE SCORRETTA DELLE MANI

DPI NON IN USO

...MA COSI'

GIUNZIONE DI ELEMENTI STABILI

POSTURE CORRETTE

OPERATORI NON ALLINEATI ALLA TRAIETTORIA DELLA MAZZA

DPI IN USO

In queste immagini istruttori ed allievi in cantiere didattico hanno rappresentato ed evidenziato le modalità scorrette con le quali può essere eseguita una lavorazione

SCORTECCIATURA

NON COSI'...

DPI INCOMPLETI

POSIZIONE SCORRETTA

...MA COSI'

DPI COMPLETI

POSIZIONE CORRETTA

In queste immagini istruttori ed allievi in cantiere didattico hanno rappresentato ed evidenziato le modalità scorrette con le quali può essere eseguita una lavorazione

...E POI SEMPRE COSI'!

TRASCINAMENTO LEGNAME

CARICHI SOSPESI

LAVORI IN ESPOSIZIONE

Tecniche di rivegetazione

TECNICHE DI RIVEGETAZIONE

Tecniche di inerbimento

Gli inerbimenti hanno lo scopo di:

- stabilizzare il terreno, attraverso l'azione consolidante degli apparati radicali;
- proteggere il terreno dall'erosione superficiale dovuta all'azione battente delle precipitazioni e dal ruscellamento superficiale;
- ricostruire la vegetazione e le condizioni di fertilità.

Negli inerbimenti devono essere utilizzate specie erbacee adatte ai diversi tipi di terreno, tenendo in considerazione il clima e la quota del sito di intervento.
Ai fini dell'ottenimento dei migliori risultati occorre utilizzare gli strati più superficiali del terreno, il cosiddetto “materiale di scotico”, per riformare le superfici che saranno seminate, collocandolo quindi nella sua posizione originaria, ed evitando che tale suolo fertile venga utilizzato negli strati profondi. In alcuni casi può essere valutato l'impiego di vere e proprie zolle erbose precedentemente asportate in modo corretto e ben conservate. Tale intervento è particolarmente valido nelle operazioni di rivegetazione di luoghi posti a quote elevate e poco fertili. In ogni caso, per evitare fenomeni di degradazione, la terra di scotico e le eventuali zolle devono essere reimpiegati nel più breve tempo possibile.

Figura 1

Figura 2

Fig.1-2: inerbimento mediante idrosemina

Le semine possono essere effettuate solitamente tra l'inizio dell'autunno e l'inizio della primavera.

La ricostituzione della cotica erbosa può avvenire mediante una semina manuale (a spaglio), preceduta da eventuali operazioni di preparazione del piano di semina.
La tecnica della semina manuale (a spaglio), particolarmente adatta su terreni poco acclivi, richiede:

- lo spargimento uniforme delle sementi nelle misure e nelle dosi previste (variabili tra i 10 e i 50 g/m^2) su un suolo che abbia una presenza di terra accettabile, che sia stato precedentemente preparato con l'asportazione dei ciottoli più grossi e con un'eventuale concimazione;
- l'eventuale interramento del seme a una profondità ottimale di 2 - 3 cm.

Il tipo di miscuglio da impiegare deve essere adatto alle caratteristiche del luogo di intervento (vegetazione, clima, suolo, fattori topografici).
La semina viene effettuata in giornate senza vento, provvedendo successivamente alla risemina se la germinazione non sarà regolare e uniforme.
Ove possibile, la ricopertura del seme va effettuata con rastrelli a mano ed erpici a sacco; dopo la semina si provvede inoltre a una bagnatura del terreno, se possibile.
L'inerbimento delle superfici può essere ottenuto anche con la semina idraulica (idrosemina), tecnica adatta all'inerbimento di superfici ampie e in pendenza, che viene eseguita con attrezzatura a pressione, con idoneo miscuglio di graminacee e leguminose ed eventualmente di specie arbustive, con il medesimo criterio di scelta delle specie idonee alla semina manuale (*figg.1-2*).
La tecnica dell'idrosemina prevede l'impiego di una miscela composta da acqua, miscuglio di sementi idonee, concime, collanti, prodotti fitoormonici e sostanze miglioratrici del terreno (*fig.3*), il tutto distribuito in una unica soluzione con speciali macchine irroratrici a forte pressione (idroseminatrici) (*fig.4*).

Fig.3: miscuglio di sementi e concime

La semina idraulica su terreni in pendenza tramite l'impiego di motopompe volumetriche, montate su mezzi mobili e dotate di agitatore meccanico che garantisca l'omogeneità della miscela, prevede l'uso di collanti e consiste in una miscela che assicuri:

- la fornitura e spargimento di miscuglio (35 - 40 g/m^2) di graminacee e leguminose ed eventuali specie arbustive;
- la fornitura e somministrazione di collanti o sostanze colloidali naturali che impediscano all'acqua assorbita di disperdersi e che assicurino l'aderenza dei prodotti al terreno;
- la fornitura e distribuzione di idonea quantità di fertilizzanti a lenta cessione (150 g/m^2);
- la fornitura e distribuzione di sostanze organiche (paglia, cellulosa, ecc.).

Nei casi in cui risulti necessario aumentare la parte organica si potrà quindi provvedere, su terreni a scarsa pendenza, anche alla distribuzione di una coltre protettiva del suolo, costituita da fibre naturali (paglia, fieno, ecc.).
Tale substrato è quindi utilizzabile anche nel caso di semina manuale: la distribuzione del seme avverrà prima della posa della paglia e quest'ultima, trattenuta eventualmente da una rete in polietilene fissata a terra con picchetti di legno o talee, manterrà, soprattutto nei versanti esposti a sud, l'umidità del suolo, contribuendo a creare buone condizioni per la germinazione (*fig.5*).

Fig.4: caricamento dell'idroseminatrice

Fig.5: idrosemina su coltre protettiva di paglia

La coltre protettiva, costituita percentualmente anche da fibre di legno o da pasta di cellulosa, se distribuita con la semina idraulica, prende il nome di idrosemina con *mulch*. Commercialmente esistono poi varianti del *mulch* che, a seconda della concentrazione e della composizione, caratterizzano l'idrosemina a fibre legate e l'idrosemina a spessore.
Più avanti nel testo, verrà descritto il possibile utilizzo di reti in fibra naturale per la protezione del suolo e il trattenimento di materiale organico somministrato per incrementare la fertilità del terreno. In questi casi può essere opportuno eseguire la semina sul terreno sia prima sia dopo la posa di tali protezioni (*figg.6-7-8-9-10-11*).

Figura 7

Figura 6

Figura 8

Figg.6-7-8: sistemazione di una scarpata stradale con l'allestimento di terre rinforzate e palificate, poste sopra una base in massi. L'inerbimento è stato effettuato con idrosemina su rete in fibra naturale di juta.

Figura 9

IDROSEMINATRICE TRASPORTABILE
SU AUTOCARRO, CON
MOTOCOMPRESSORE
CAPACITA' 2000 LITRI

IDROSEMINATRICE LEGGERA
CON MOTOCOMPRESSORE CAPACITA' 500 LITRI
POSIZIONABILE SU AUTOCARRO O PICK-UP

IDROSEMINATRICE FISSA SU AUTOCARRO 70 Q.LI
CAPACITA' 5000 LITRI

Fig.9: tipologie di idroseminatrice

Figura 10

Fig.10: idroseminatrice leggera

Figura 11

Fig.11: idroseminatrice a rimorchio: viene attivata dalla presa di forza del trattore agricolo

Messa a dimora di piantine e di talee

Come già è stato spiegato, le piante arbustive e arboree possono essere ottenute da seme (non di frequente utilizzo), da piantine a radice nuda o in contenitore, oppure da parti di piante, sotto forma di talee, astoni, ramaglia viva, ecc. .

Fatto salvo l'impiego di fasciname minuto e di ramaglia viva, che danno buoni risultati solo in condizioni ottimali di fertilità e insolazione, le talee vengono preparate all'uso per lunghezze variabili in funzione della tecnica di Ingegneria Naturalistica adottata e con diametro non inferiore ai 2 cm. A maggiori diametri, infatti, corrispondono maggiori riserve di nutrimento per la pianta, che - sotto forma di talea - non ha ancora sviluppato le radici dal fusto e che quindi supererà più agevolmente la carenza nutrizionale e idrica che si avrà subito dopo la messa a dimora, tanto più grandi saranno le dimensioni del fusto.

Sia le talee sia le piantine da vivaio, soprattutto quelle a radice nuda, devono essere messe a dimora durante il riposo vegetativo, che interessa un periodo dell'anno la cui lunghezza è in funzione della quota alla quale si opera; in montagna il periodo di riposo è più lungo rispetto alla pianura. In linea di massima, l'epoca migliore per l'esecuzione dei lavori è l'autunno per la pianura e la primavera per la montagna; l'esecuzione dei lavori in primavera comporta tempi più brevi per la rivegetazione del terreno, riducendo così i rischi di erosione. La messa a dimora non dovrà comunque essere eseguita in periodi di gelate, nè in periodi in cui la terra è totalmente satura d'acqua in conseguenza di pioggia o di disgelo.

In genere è consigliabile effettuare la messa a dimora degli alberi tra metà ottobre e metà aprile, evitando la fase di congelamento del terreno (*v. Tab. VII*).

TAB. VII: calendarizzazione delle opere che prevedono l'impiego del materiale vegetale

La messa a dimora delle piante a radice nuda deve essere effettuata in un periodo più ristretto (da metà novembre a metà marzo),mentre per le piante messe a dimora con zolla di terra o per le conifere in generale il periodo può essere esteso dall'inizio di ottobre a fine aprile o anche all'inizio di maggio (*figg.13-14-15*).

Alcune tecniche consentono di effettuare l'impianto quasi senza limiti stagionali (contenitori, zolle imballate in teli di plastica saldati a caldo, ecc.), ma per i soggetti messi a dimora a stagione avanzata, devono comunque essere previste cure particolari per assicurarne l'attecchimento, quali ad esempio delle irrigazioni di soccorso in stagione secca.

Determinate tecniche di Ingegneria Naturalistica prevedono l'impiego contemporaneo di materiali inerti (terra e pietrame) e vivi, come accade nel montaggio "a strati" delle palificate di sostegno a doppia parete: la stagione di costruzione delle opere è quindi condizionata dal periodo nel quale è possibile mettere a dimora la vegetazione.

Anche il prelevamento delle talee da piante vicino al cantiere viene effettuato durante il periodo di riposo della vegetazione (*fig.12*).

I notevoli quantitativi di talee o astoni che in molti lavori devono essere impiegati possono rendere necessario un approvvigionamento anticipato rispetto alla fase di esecuzione dei lavori.

Figura 12

Fig.12: talee preparate, di varie dimensioni

Nasce quindi un'esigenza di conservazione di tale materiale che si può ottenere in celle frigorifere oppure in pozze di acqua fredda continuamente ricambiata, al fine di evitare che le talee emettano germogli e radici prima dell'esecuzione dei lavori. Nell'impossibilità di disporre di luoghi dove accumulare il materiale a bassa temperatura, si può ritardare la ripresa della attività vegetativa (sia pure per breve tempo) collocando il materiale in siti di stoccaggio a quote più elevate e freddi rispetto alla zona di intervento.

In generale, sia per talee sia per le piantine radicate arboree o arbustive, se i luoghi di approvvigionamento e di stoccaggio della vegetazione non coincidono con le aree di intervento, occorre prevedere qualche accorgimento per il trasporto del materiale vegetale sul cantiere di lavoro, tanto più grandi saranno le distanze da percorrere.

Soprattutto durante stagioni tardo-invernali o primaverili, con temperature calde impreviste, il pericolo di disidratazioni provocate dal contatto con l'aria è sempre presente: in queste situazioni è consigliabile l'impiego di autocarri furgonati o con cassoni telonati e una preventiva bagnatura del materiale.

Le piante non idonee, malate e di forma irregolare devono essere scartate.

Per ciascuna fornitura di alberi, sia adulti sia giovani, è bene che una etichetta, apposta su ciascun esemplare, fornisca - attraverso una iscrizione chiara e indelebile - tutte le indicazioni utili al riconoscimento delle piante (genere, specie, varietà e numero nel caso in cui la pianta faccia parte di un lotto di piante identiche).

Nelle operazioni di messa a dimora di piantine, i tutori, se previsti e necessari, vanno conficcati nella buca di piantagione prima della posa delle piante e devono affondare di almeno 30 cm oltre il fondo della buca. Si procede quindi disponendo uno strato di terra sul fondo delle buche e rimuovendo ciottoli o materiali estranei: su questo strato di terra verrà sistemata la radice.

Figura 13

Figura 14

Figura 15

Figg.13-14-15: messa a dimora di piantine

La pianta deve essere posata in modo che il colletto radicale si trovi al livello del fondo della conca di irrigazione e la radice non deve essere né compressa, né spostata; la buca di piantagione viene poi colmata con terra di scavo, eventualmente con aggiunta di terra fine. La compattazione della terra va eseguita con cura, in modo da non danneggiare le radici, non squilibrare la pianta, che deve rimanere dritta, e non lasciare sacche d'aria: la completa compattazione sarà ottenuta attraverso una abbondante irrigazione, che favorirà inoltre la ripresa vegetativa.
Le legature dell'eventuale tutore devono circondare il tronco e vengono disposte in modo che, attraverso la loro azione, il tutore serva d'appoggio alle piante.
Nei soggetti più sviluppati la legatura più alta va indicativamente posta a circa 20 cm al di sotto delle prime ramificazioni, la più bassa a un metro dal suolo.
Dopo il riempimento della buca, la terra residua va sistemata al piede della pianta in modo da formare intorno al colletto una piccola conca; quindi si effettua una prima irrigazione.
La pianta può essere dotata sia di dischi pacciamanti di cellulosa e lignina di varia forma o dimensione, sia di eventuali *shelter* (tubi plastici o reticelle con funzione di protezione della pianta dall'azione di roditori).
Per la messa a dimora di alberi, può essere necessario in ogni buca mescolare alla terra del letame o dei concimi misti, organici o chimici.
In merito alla tecnica di messa a dimora di talee, astoni, ramaglia viva, questo materiale, una volta preparato (ossia portato alle dimensioni richieste dalle opere in costruzione) deve essere immediatamente impiegato, al fine di ridurre i rischi di eccessiva perdita d'acqua (disidratazione). Le talee devono risultare esenti da traumi meccanici della scorza (ammaccature e sbucciature della corteccia), marciumi e parassiti. Per la successiva messa a dimora occorre rispettare la *polarità* delle talee prelevate: ciò significa che le talee e gli astoni devono essere disposti con la cima - parte di diametro minore - che guarda l'esterno dell'opera o verso il cielo (nel caso degli astoni di una copertura diffusa), altrimenti si avrebbe un forte rischio che germogli e radici non vengano emessi.
Come già descritto, l'epoca del taglio e dell'utilizzo delle talee è legata al periodo di riposo vegetativo delle diverse specie.
Le talee devono essere poste preferibilmente in orizzontale, in quanto producono una maggiore massa di radici, rispetto a quelle poste in senso verticale. Il posizionamento orizzontale o suborizzontale infatti favorisce la radicazione in più punti lungo il fusto, mentre nelle talee posate verticalmente nel terreno, la radicazione si sviluppa solo da gemme nelle vicinanze del taglio di base.
Nella posa orizzontale si ha una più uniforme distribuzione lungo il fusto di sostanze immagazzinate nelle gemme, che favoriscono l'emissione di radici. È opportuno ricordare che talee di diametri superiori ai 2 cm e di lunghezza non inferiore ai 50 cm assicurano migliori risultati per via delle maggiori quantità di sostanze di riserva possedute.
La messa a dimora per talea richiede quindi alcuni accorgimenti:

- la corretta scelta delle specie vegetali;
- il rispetto dell'epoca di prelievo e di impiego;
- le opportune cautele nella conservazione e nel trasporto;
- la corretta polarità nella posa;
- la posa quasi orizzontale;
- la necessità che non ci siano mai sacche d'aria a contatto con la parte interrata, da qui l'opportunità di compattare il terreno e di evitare il più possibile l'inserimento a posteriori delle talee nelle opere;
- la buona qualità del terreno di riempimento, che non deve essere eccessivamente pietroso;
- l'inserimento della talea nel terreno per almeno l'80% della sua lunghezza, e comunque sporgente per non più di 5 cm, per far sì che sia il più possibile a contatto con la terra e non vi siano fenomeni di precoce disidratazione;
- la spuntatura o potatura della parte aerea con un taglio netto, inclinato verso il basso (con la faccia tagliata che guardi il terreno).

Fra le tecniche di messa a dimora di piantine e/o di talee si descrivono due particolari tecniche.

Figura 16

Fig.16: gradonata viva

La gradonata viva (*figg.16-17-18-19*) è un tipo di intervento per il consolidamento di pendii e scarpate attraverso la messa a dimora di materiale vegetale vivo.
La sequenza di costruzione comprende:

- lo scavo manuale o meccanico di una banchina profonda almeno 50 cm, con una pendenza verso l'interno dello scavo del 10% circa;
- la messa a dimora orizzontale di talee, o talee e piantine radicate, in numero rispettivo di almeno 20 talee (diametro minimo 2 cm) al metro e/o 5 piantine radicate al metro;
- la ricarica della banchina con terra di scavo, lasciando sporgere le talee solo per pochi centimetri.
- la potatura delle talee, come precedentemente descritto.

Per la sistemazione di un versante vengono realizzati più linee di gradonate vive, eseguite con interassi di 1.5 - 3 m, partendo generalmente dalla base del pendio fino alla parte più alta, utilizzando per il riempimento delle banchine inferiori il materiale di scavo di quelle soprastanti.

Figura 17

Figura 18

Figg.17-18: gradonate vive

Figura 19

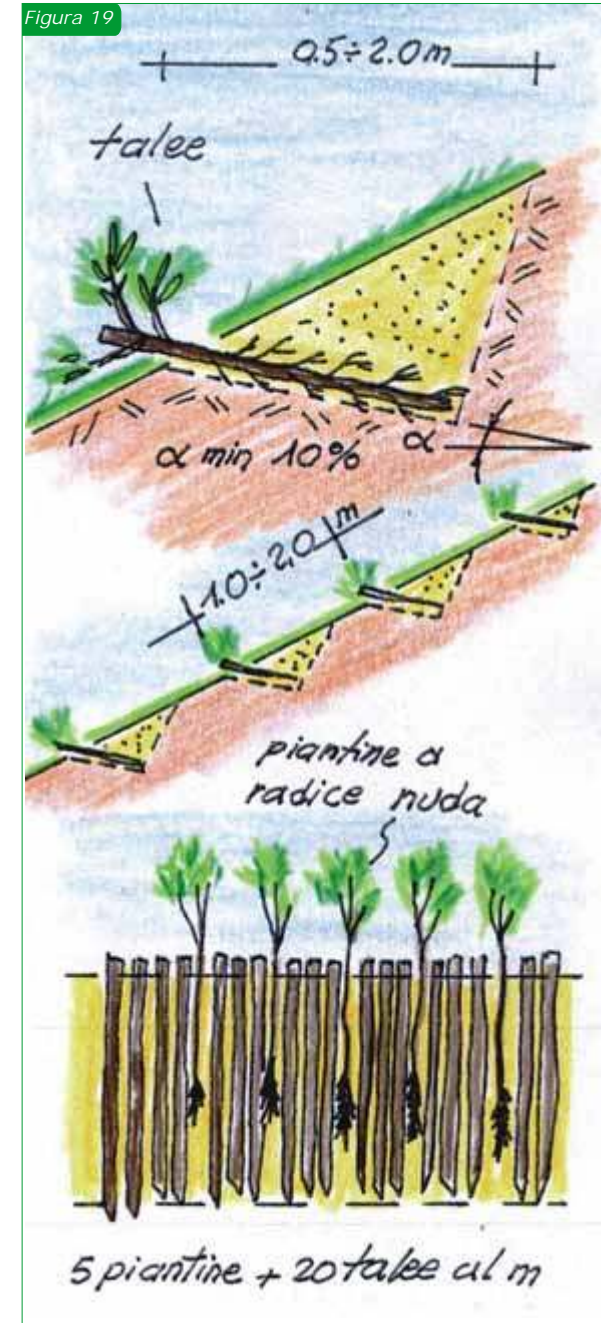



Fig.19: schema di gradonata viva

GRADONATA VIVA: DETTAGLI DI LAVORAZIONE

L'infissione di talee a chiodo (*figg.20-21-22*) è una tecnica di messa a dimora per la rivegetazione di versanti, scarpate e sponde, che prevede l'impiego di talee di grosse dimensioni, lunghe in genere da 50 cm a 1 m, da posare a seguito dell'eventuale rimodellamento del terreno come da progetto, con la seguente successione operativa:

- realizzazione di prefori di posa con barre metalliche di grosso diametro, inserite obliquamente;
- inserimento delle talee nei fori;
- infissione in profondità con utilizzo di una mazza;
- rifilatura a margini netti della testa delle talee, attraverso l'uso di grosse tronchesi o con sega manuale.

Le talee a chiodo possono essere anche impiegate come ancoraggio delle reti in fibra naturale, naturalmente insieme agli ancoraggi metallici, ottenendo così una maggiore rivegetazione del versante.

Figura 21

Figura 20

In tutti gli interventi di rivegetazione, vale a dire gli inerbimenti e la messa a dimora di talee e piantine, occorre sempre prevedere un periodo da dedicare alle cure colturali. Sin dalla fine dei lavori, le opere di Ingegneria Naturalistica richiedono, a seconda delle condizioni dei luoghi, l'effettuazione di alcuni interventi, che possono risultare di vitale importanza soprattutto nei primi due anni.
Talvolta può essere opportuno effettuare interventi ancora nei 4 - 5 anni successivi all'ultimazione dei lavori.
Le cure colturali permettono la sopravvivenza di un numero di piante adeguato alla funzionalità delle opere e ne facilitano la crescita.
Gli interventi manutentivi più comuni sono:

- la sostituzione di fallanze, ossia di piante o talee che non hanno attecchito;
- il rifacimento di opere o di parti di esse danneggiate (risemina di porzioni, ecc.);
- l'irrigazione ordinaria oppure straordinaria, a seconda dell'andamento meteorologico;
- l'eventuale concimazione;
- l'apporto di sostanze pacciamanti, come paglie di cereali, che forniscono calore e umidità alla pianta, difendendola dalle infestanti;
- la manutenzione delle conche al piede delle piante e il ripristino della loro verticalità;
- l'eventuale posa di pali tutori;
- uno sfalcio iniziale nelle formazioni vegetali molto dense, che favorisce lo sviluppo radicale e le specie meno aggressive;
- l'eventuale potatura delle piante arboree e arbustive;
- il contenimento della vegetazione infestante;
- gli eventuali interventi contro parassiti animali e vegetali;
- il controllo e la sistemazione dei danni prodotti dall'erosione.

Figura 22

Quando si devono effettuare concimazioni e irrigazioni si deve avere l'avvertenza di non eccedere nei dosaggi e nelle frequenze di distribuzione, in quanto potrebbero produrre effetti indesiderati, come uno sviluppo radicale superficiale, che renderebbe le piante più sensibili agli stress idrici e poco adatte ad assolvere alle funzioni per cui sono state impiegate.
Questi particolari interventi colturali si rendono sovente necessari negli stadi iniziali e soprattutto nelle situazioni stagionali più sfavorevoli.

Impiego di reti in fibra naturale

Come si è visto nel capitolo relativo ai materiali utilizzati nell'Ingegneria Naturalistica, le reti in fibra naturale svolgono le funzioni di :
- difesa dall'erosione superficiale provocata dalle acque di pioggia;
- supporto alla rivegetazione, in particolare agli inerbimenti.

La funzione antierosiva delle reti è temporanea, perché queste, essendo costituite da materiali biodegradabili (fibre di juta, agave o cocco), si sgretoleranno, fornendo sostanza nutritiva alla vegetazione, che gradualmente le sostituirà nell'azione di consolidamento del terreno con lo sviluppo dell'apparato radicale dell'erba seminata o delle piantine e/o talee che vengono messe a dimora fra le maglie della rete (*fig.23*).
In altre parole, posare reti in fibra naturale è come conferire al terreno una *"seconda pelle"*, che temporaneamente lo protegge dall'erosione in attesa che si completi l'azione *"protettiva"* della vegetazione (*figg.24-25*).
E' quindi fondamentale il rispetto di queste modalità operative:
- prima della posa delle reti deve essere effettuata la lavorazione del terreno, sia esso in pendenza sia in situazioni quasi pianeggianti, mediante profilature, livellamenti e spietramenti;
- il piano di posa deve essere il più possibile privo di sporgenze, spuntoni, quindi di rocce acuminate e massi: le eventuali ceppaie presenti, se stabili e ben radicate, potranno essere accerchiate, ma non coperte con le reti in fibra naturale;
- i teli vanno stesi affiancati l'uno con l'altro con una leggera sovrapposizione (10 - 20 cm) e devono sempre aderire al terreno in ogni punto: è anche possibile provvedere alla "cucitura" dei teli con legature da effettuarsi con cordame (*fig.26*);
- gli ancoraggi al terreno (picchetti, chiodature, staffe ad "U", ecc.) devono essere in numero adeguato per prevenire qualsiasi fenomeno di svuotamento, di sollevamento del telo, di strappo dei teli o apertura dei lembi e devono essere posati, per questo, dall'alto verso il basso; inoltre occorre che siano sufficientemente conficcati nel terreno in modo da penetrare negli strati più compatti (*fig.27*);
- a protezione di pendii sufficientemente terrosi e penetrabili, come picchetti di ancoraggio potranno anche essere utilizzate grosse talee (diametro minimo 5 cm) da utilizzare *a chiodo*; queste, opportunamente appuntite, saranno inserite tra una maglia e l'altra delle reti, dopo aver praticato nel terreno sottostante un preforo mediante una barra metallica, in modo da permettere l'infissione senza particolare sforzo e senza produrre danni alla corteccia;
- le talee non dovranno sporgere per più di 5 cm, a fronte anche di eventuali operazioni di potatura successive al loro inserimento e necessarie nel caso in cui, per l'utilizzo di mazze, la testa abbia comunque riportato sbucciature o altre lesioni alla corteccia;
- ai fini della rivegetazione anche con specie arbustive e arboree può essere prevista la posa di piantine tra le maglie della rete, avendo cura di non compromettere l'integrità del telo e non creare svuotamenti con la buca d'impianto;
- in ogni caso occorre come minimo ricorrere alle tecniche di inerbimento descritte (semina manuale e idrosemina) per rivegetare il pendio e controllare il corretto attecchimento dell'erba;
- qualche volta può essere consigliabile effettuare la semina delle specie erbacee prima e dopo la stesura delle reti, se le condizioni di attecchimento si presentano particolarmente critiche;
- è possibile posare reti metalliche sopra le reti in fibra naturale, quando sia necessaria una maggiore stabilizzazione superficiale dei terreni, a causa di forti pendenze: le reti in acciaio necessitano però di appositi idonei ancoraggi, indipendenti da quelli utilizzati per far aderire al suolo le reti antierosive (*figg.28-29*).

Figura 23

Fig.23: posa di rete in fibra naturale di juta

Figg.24-25: le reti in fibra naturale hanno ampiamente dimostrato la loro utilità nel costituire resistenze all'erosione e supporto alla rivegetazione di versanti, se opportunamente rimodellati

Fig.26: giunzione puntuale tra teli di rete in juta, mediante legature

Figura 27

Fig.27: ancoraggio al suolo di reti in fibra naturale, mediante l'uso di graffe

Figura 28

Fig.28: ancoraggio al suolo di rete in fibra naturale e rete metallica, con impiego di barre filettate

Figura 29

Fig.29: particolare del fissaggio al suolo di reti e sviluppo di una talea a chiodo

Canalizzazioni e sistemi drenanti

CANALIZZAZIONI

Come già ricordato, in tutto l'arco alpino, possono verificarsi precipitazioni di fortissima intensità, che, in assenza di regimazione idraulica delle acque di superficie, possono generare fenomeni di dissesto del suolo per saturazione della coltre di terreno superficiale.
La capacità di smaltimento e la durata delle canalizzazioni utilizzate dipendono dalla loro sezione di deflusso, dalla pendenza ottenuta in fase costruttiva e dalla periodica attività di manutenzione.
Di diffuso utilizzo sono le canalette metalliche aperte, in lamiera di acciaio corrugata e zincata, di forma semicircolare, ancorate al suolo mediante tirafondi. La canaletta deve essere opportunamente collocata in uno scavo che consenta l'afflusso dell'acqua dalle zone laterali senza provocarne il sifonamento. I tirafondi di ancoraggio rendono la canaletta solidale al terreno e possono essere costituiti da picchetti in acciaio o da barre filettate cementate a fondo foro e imbullonate. Le zone di rinfianco e raccordo con il terreno circostante devono essere opportunamente rivegetate, anche con l'impianto di talee di specie arboree o arbustive dotate di elevata capacità vegetativa; il raccordo tra canaletta e zone laterali può essere realizzato anche mediante la posa di reti, favorendo la stabilizzazione dell'opera.
Nei casi dove la capacità di trasporto solido è elevata, si può prevedere la costruzione di canalizzazioni in legname e pietrame, di sezione trapezia. Si procede con:

- scavo della sezione prevista dal progetto con mezzo meccanico o a mano;
- infissione nel terreno di pali scortecciati di legno durabile di latifoglie o conifere autoctone (larice, castagno, di diametro non inferiore a 20 cm), con angolazione corrispondente alla parete dello scavo;
- fissaggio longitudinale di elementi di lunghezza variabile da 2 a 4 m ai pali di ancoraggio, mediante chiodi o graffe, posti alla quota di fondo alveo e alla sommità della sponda;
- posa, nei quadri in legname così costituiti sui lati e sul fondo, di lastroni o blocchi di pietrame intasati con materiale terroso;
- inerbimento del terreno di riempimento dei giunti fra le pietre, ai fini dello sviluppo della radicazione per favorire la stabilità dei materiali.

La struttura può essere completata e irrigidita dall'inserimento nella parte sommitale di una traversa in legno a intervalli di alcuni metri; però, poiché in eventuali episodi di piena con trasporto di materiale solido (in particolare ramaglie) la sezione di deflusso potrebbe ostruirsi, si ritiene preferibile vincolare ulteriormente i pali infissi mediante ancoraggi in sponda, anziché realizzare i traversi di collegamento tra i pali stessi.

Figura 2

Figura 1

Figg.1-2-3: fasi costruttive di una canalizzazione in legname e pietrame

Figura 3

Figura 4

Traversa (sconsigliabile in presenza di trasporto solido)

eventuale picchetto di ancoraggio

giunzione a incastro

giunzione a pali alterni per canalette in pendenza o a salti

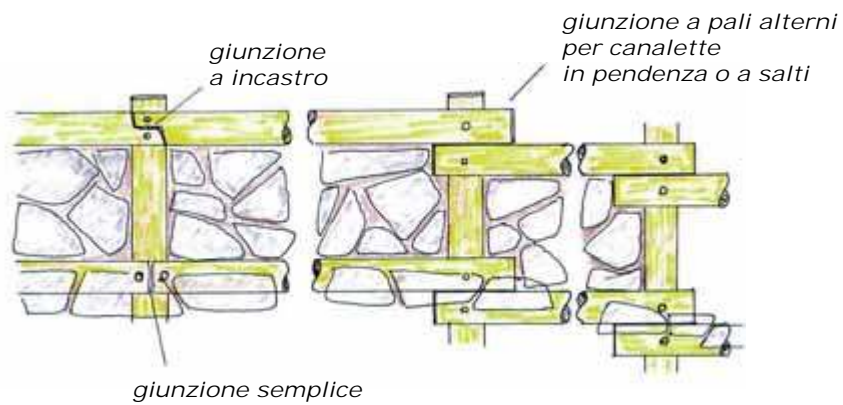
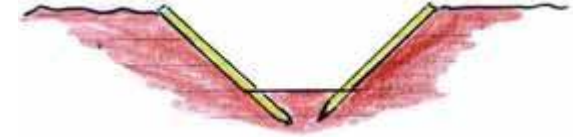
giunzione semplice

Canaletta in legname e pietrame

Fig.4: canalizzazioni: schemi costruttivi

SCAVO IN ALLARGAMENTO A SEZIONE TRAPEZIA REGOLARE. INFISSIONE PALI

1) PALI INFISSI A CONTATTO DEL TERRENO SPONDALE

2) MESSA IN OPERA DELLE TRAVATURE ORIZZONTALI (CORRENTI)

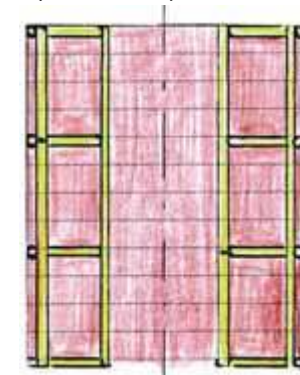
3) POSA DI TRAVERSI A FONDO ALVEO E INIZIO RIVESTIMENTO CON PIETRAME DI FORMA IRREGOLARE

4) COMPLETAMENTO DEL RIVESTIMENTO

Fig.5: canalizzazione in legname e pietrame con salti

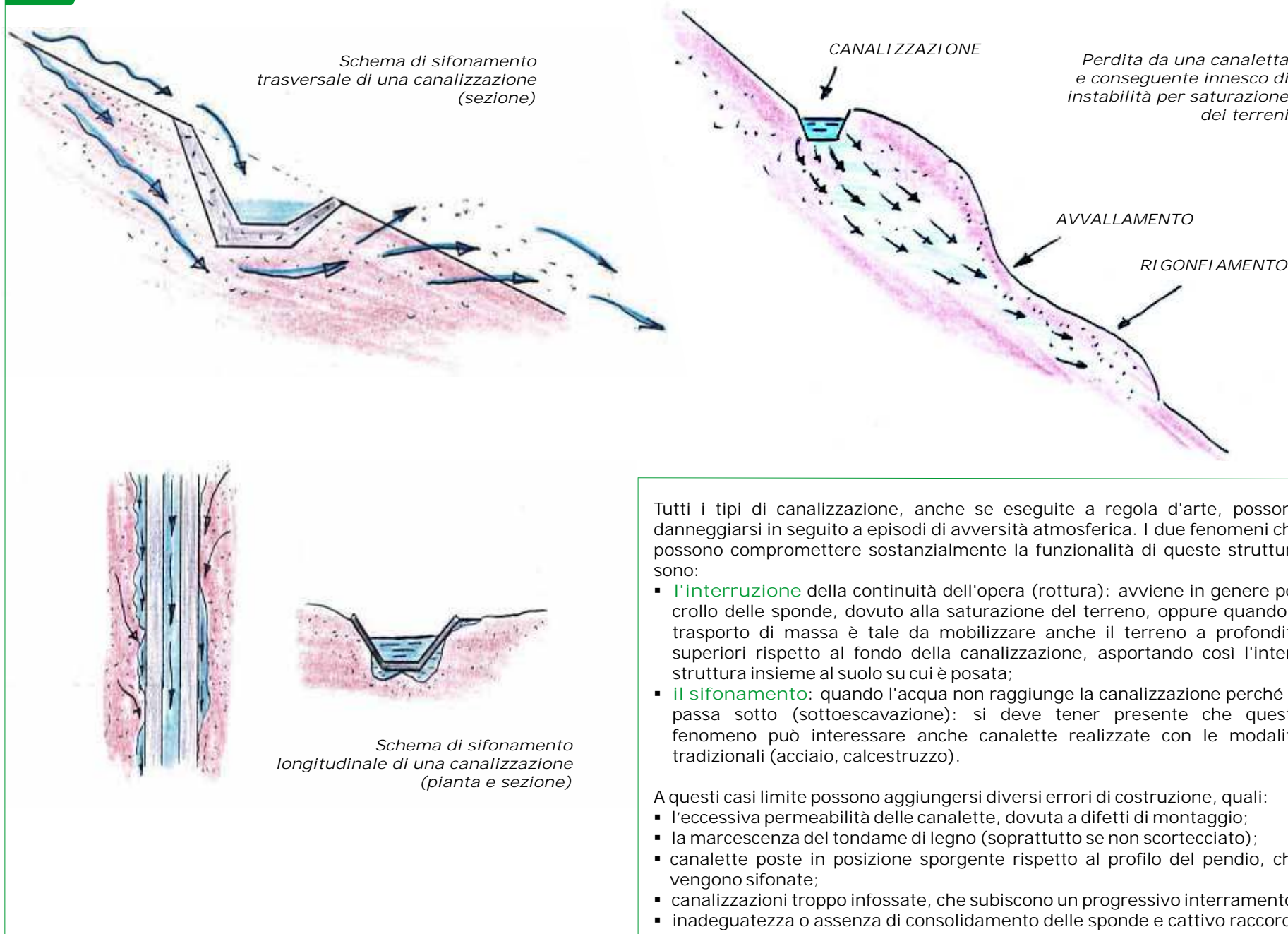
Figg.6-7-8: fasi costruttive di un breve tratto di canalizzazione in legname e pietrame, per favorire il corretto scarico delle acque in un torrente

In altri casi, caratterizzati da pendenze e velocità di deflusso dell'acqua non elevate, possono essere realizzate canalette in terra, effettuando uno scavo avente sagoma trapezia, e disponendo opportunamente geosintetici antierosivi a protezione dello stesso.
Si possono avere quindi canalette in terra, rivestite mediante reti in fibra naturale o geosintetici, e rivegetate con una semina manuale o a pressione; alcune canalette in terra possono anche essere impermeabilizzate mediante rivestimento in polietilene ad alta densità.
L'impiego di canalette in tavolame di legno (*fig.9*) è in genere previsto per la raccolta e lo smaltimento di acque provenienti da altri sistemi di drenaggio. Data la rigidità della struttura, spesso necessitano di pozzetti di raccordo tra i vari tratti costituenti l'intera canalizzazione. Le canalette in tavole di legname devono essere realizzate con elementi di legname stagionato e durabile, (ad esempio larice o castagno) avente spessore minimo di 5 cm: fondamentale è la qualità del materiale, che deve essere privo di nodi, aperture o fessurazioni. Inoltre l'assemblaggio della struttura, costituita evidentemente da più tratti anche sovrapposti nelle sezioni terminali, deve essere tale da evitare qualsiasi interruzione, assicurando così l'allontanamento di tutte le acque convogliate nella rete di scolo. A tal fine risultano essenziali le modalità di collegamento tra i vari elementi, che potranno essere realizzate attraverso chiodatura o graffatura metallica, nonché quelle di ancoraggio al suolo. L'utilizzo tipico di queste strutture è costituito dai taglia-acqua posti lungo le piste forestali.
Tutte le opere di convogliamento delle acque superficiali necessitano di periodiche operazioni di manutenzione, al fine di garantirne la funzionalità, in quanto l'entità delle precipitazioni e il notevole trasporto di massa sui versanti possono pregiudicarne l'efficacia.

Fig.9: canaletta in tavolame di larice

Fig.10: canalizzazione di acque realizzata con pali di legno e pietrame. Viene utilizzata per intercettare le acque che, da monte, interesserebbero un'area in frana

Figura 11

Fig.11: effetti indesiderati connessi alle opere di canalizzazione delle acque

Tutti i tipi di canalizzazione, anche se eseguite a regola d'arte, possono danneggiarsi in seguito a episodi di avversità atmosferica. I due fenomeni che possono compromettere sostanzialmente la funzionalità di queste strutture sono:

- l'interruzione della continuità dell'opera (rottura): avviene in genere per crollo delle sponde, dovuto alla saturazione del terreno, oppure quando il trasporto di massa è tale da mobilizzare anche il terreno a profondità superiori rispetto al fondo della canalizzazione, asportando così l'intera struttura insieme al suolo su cui è posata;
- il sifonamento: quando l'acqua non raggiunge la canalizzazione perché vi passa sotto (sottoescavazione): si deve tener presente che questo fenomeno può interessare anche canalette realizzate con le modalità tradizionali (acciaio, calcestruzzo).

A questi casi limite possono aggiungersi diversi errori di costruzione, quali:

- l'eccessiva permeabilità delle canalette, dovuta a difetti di montaggio;
- la marcescenza del tondame di legno (soprattutto se non scortecciato);
- canalette poste in posizione sporgente rispetto al profilo del pendio, che vengono sifonate;
- canalizzazioni troppo infossate, che subiscono un progressivo interramento;
- inadeguatezza o assenza di consolidamento delle sponde e cattivo raccordo della struttura con le superfici laterali.

Figg.12-13: canalizzazione in acciaio corrugato, ben ancorata e con particolare cura nel raccordo tra le sponde e il manufatto (a lato): un pronto inerbimento eviterà fenomeni di sifonamento.
Sotto: interruzione e sifonamento di canaletta in acciaio

Fig.14: corretta posa in opera di canaletta in terra, protetta da geosintetico, su un percorso ad elevata pendenza, regolato da briglie

Fig.15: sifonamento longitudinale di una canaletta in pali di legno (non scortecciati e di dimensioni non idonee)

SISTEMI DRENANTI

Una parte delle acque di pioggia che raggiungono il suolo rimane in superficie (acque di ruscellamento), una parte raggiunge il sottosuolo (acque di infiltrazione), fino al limite consentito dalla permeabilità dei terreni interessati. I terreni meno permeabili (generalmente quelli più fini, o quelli più addensati) costituiscono quindi una sorta di fondo del serbatoio poroso, a partire dal quale il livello dell'acqua (acqua di falda) cresce man mano che vi affluiscono le acque di precipitazione che si infiltrano (*fig.16*).
L'acqua di infiltrazione ha un effetto positivo di ricarica delle riserve utilizzabili da tutti gli organismi viventi, ma localmente può avere effetti negativi: in un versante la presenza di acqua può infatti ridurre la stabilità dei terreni, fino a provocare smottamenti e frane. Come già evidenziato nel paragrafo precedente, la regimazione di acque per evitare l'infiltrazione si effettua con le canalizzazioni di superficie, ma spesso occorre intervenire anche sulle acque che riescono a infiltrarsi in profondità.

Fig.17: trincea drenante con tubo-dreno spiroidale di grande diametro e riempimento con materiale di scavo non selezionato

Figg.18-19: cunei filtranti in legname e pietrame posti a sostegno e drenaggio di viabilità minore

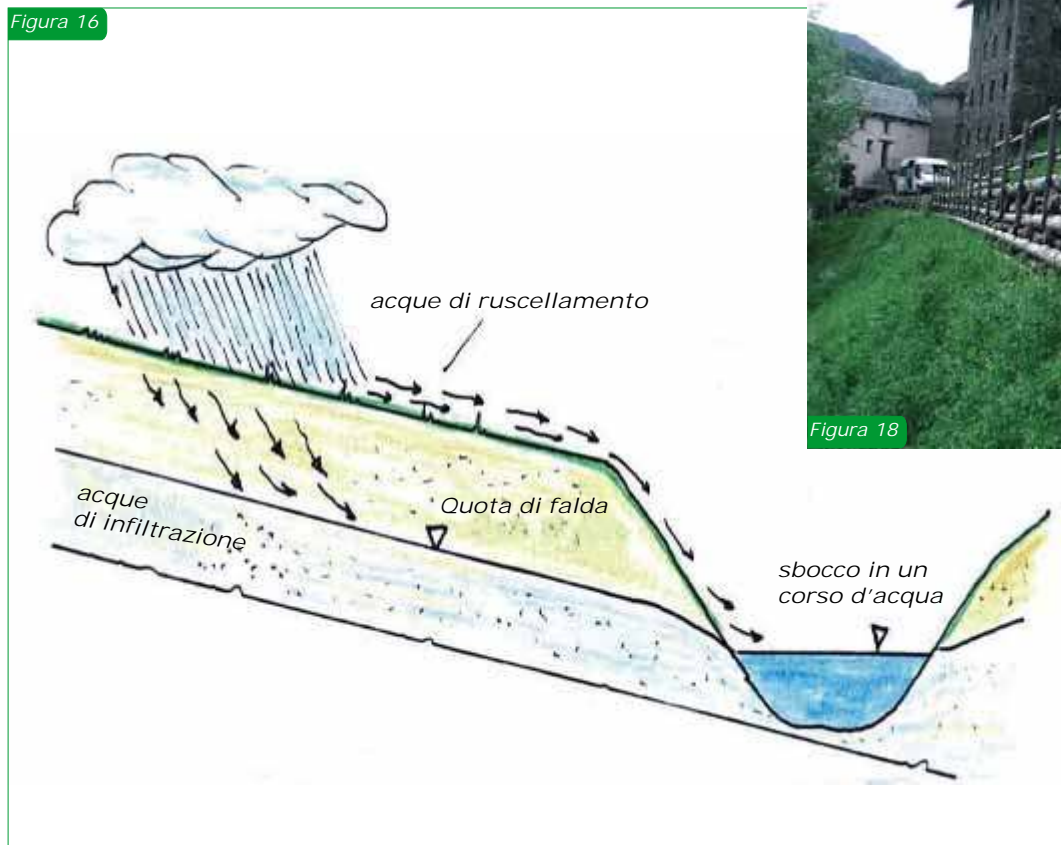
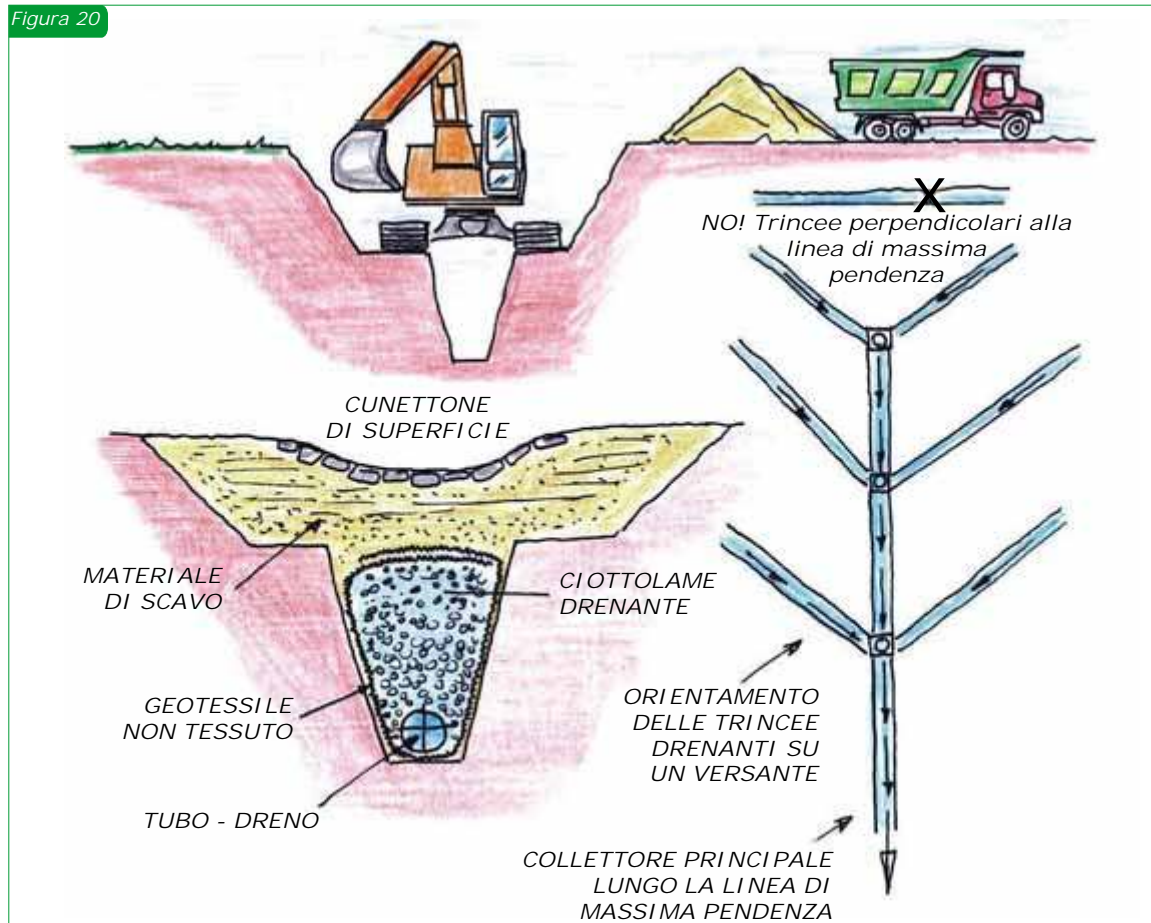



Fig.16: dinamica delle acque di infiltrazione

I sistemi drenanti su un versante sono rappresentati dall'insieme delle opere che devono intercettare le acque di infiltrazione del sottosuolo e recapitarle ai collettori naturali (impluvi, corsi d'acqua). Le tecniche di drenaggio, siano esse costituite da trincee drenanti, tubi microfessurati posti in perforazioni suborizzontali, cunei filtranti o altro, consentono l'abbassamento della falda acquifera, con una diminuzione significativa della capacità di saturazione dei terreni, riducendo un fattore destabilizzante e contribuendo a contenere la probabilità che si verifichino i dissesti.
Una trincea drenante (*fig.17*) è costituita da uno scavo, di dimensioni assai variabili (da 1 ad alcuni metri), che viene eseguito con ragno meccanico o con escavatori cingolati. Le trincee più profonde devono essere eseguite, per ragioni di sicurezza delle pareti di scavo, in approfondimento, in almeno due fasi, utilizzando escavatori a tre bracci.
Il fondo e le pareti dello scavo vengono quindi rivestiti con la posa di materiale geosintetico ad azione filtrante (geotessile nontessuto).
Alla base dello scavo vengono posati tubi microfessurati di adeguato diametro. Lo scavo viene quindi riempito con materiale pietroso di granulometria uniforme, che costituisce il corpo drenante della trincea. Il riempimento in pietrame viene quindi coperto con i risvolti del geotessile e lo scavo viene completamente richiuso con materiale terroso (*fig.20*).

Figura 20

Nei casi in cui l'acqua affiori su una superficie in pendenza, può essere allestita una struttura di consolidamento e drenaggio, denominata cuneo filtrante (*figg.18-19*), consistente in un'opera in legname (palificata a doppia parete riempita con materiale ghiaioso) destinata a intercettare la superficie di affioramento delle acque e a convogliarle in un collettore (canaletta metallica, scavo impermeabilizzato, tubazione) posto alla base dell'opera stessa.
Nel caso del drenaggio con fascinate la sequenza costruttiva prevede:

- l'esecuzione di uno scavo lungo la linea di massima pendenza del versante;
- la posa nello scavo di un tubo microfessurato di adeguato diametro, eventualmente rivestito da geotessile nontessuto;
- la posa di ramaglie e fascine morte, ed eventualmente pietrame reperito in loco;
- riempimento della parte sommitale della trincea con terra e - possibilmente - con fascine di materiale vegetale vivo, dotate di capacità di propagazione vegetativa.

All'effetto di drenaggio meccanico si accompagnerà un drenaggio attivo dovuto all'azione di pompaggio dell'acqua a livello delle radici che si saranno sviluppate con la crescita della vegetazione. A seconda della pendenza del piano di posa della struttura, sarà necessario ancorare opportunamente i materiali di riempimento dello scavo (fascine vive e morte, tubo - dreno) (*fig.21*).

Fig.20: il drenaggio dei versanti

Figura 21

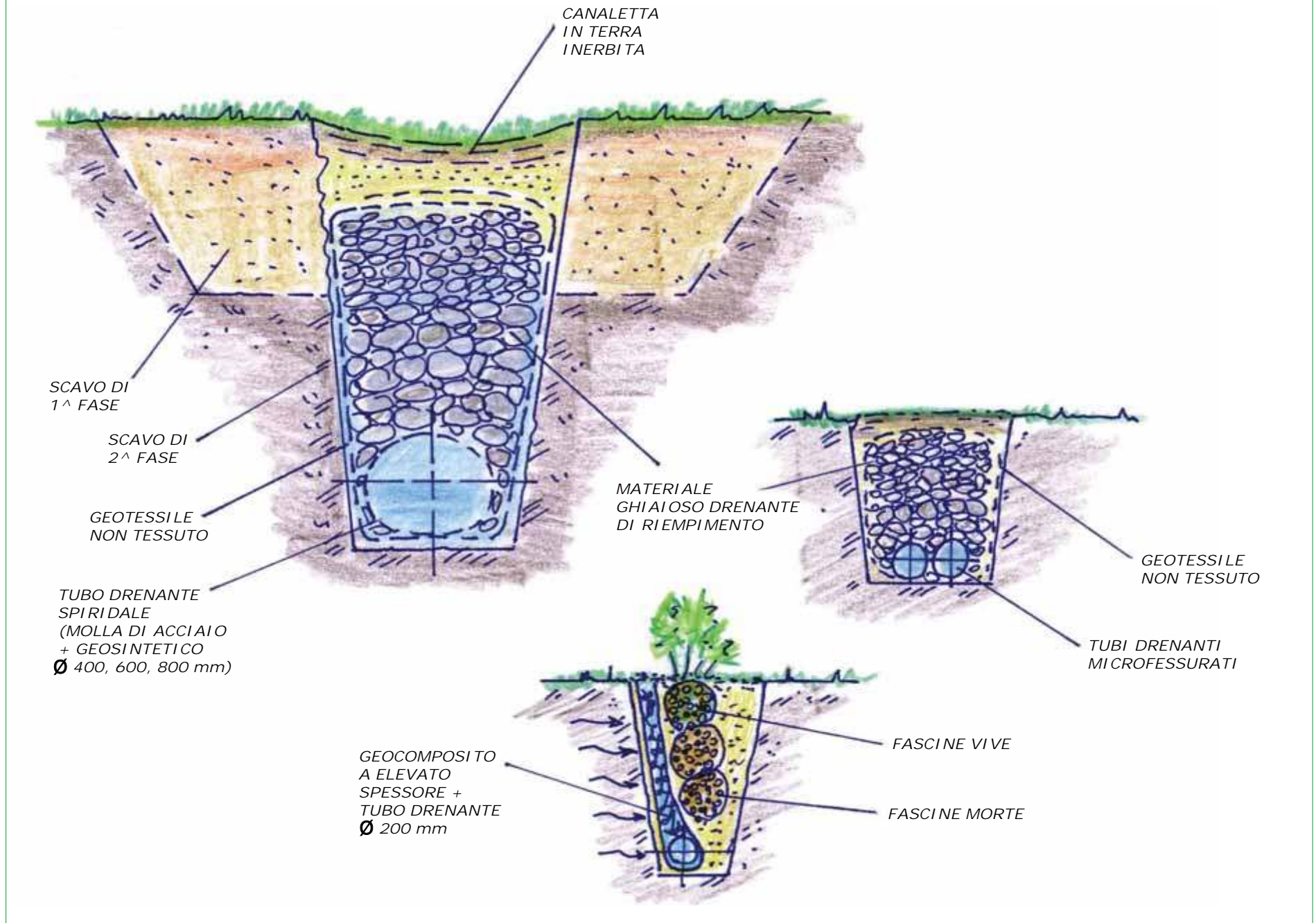



Fig.21: tipologie di trincea drenante

Opere in legname

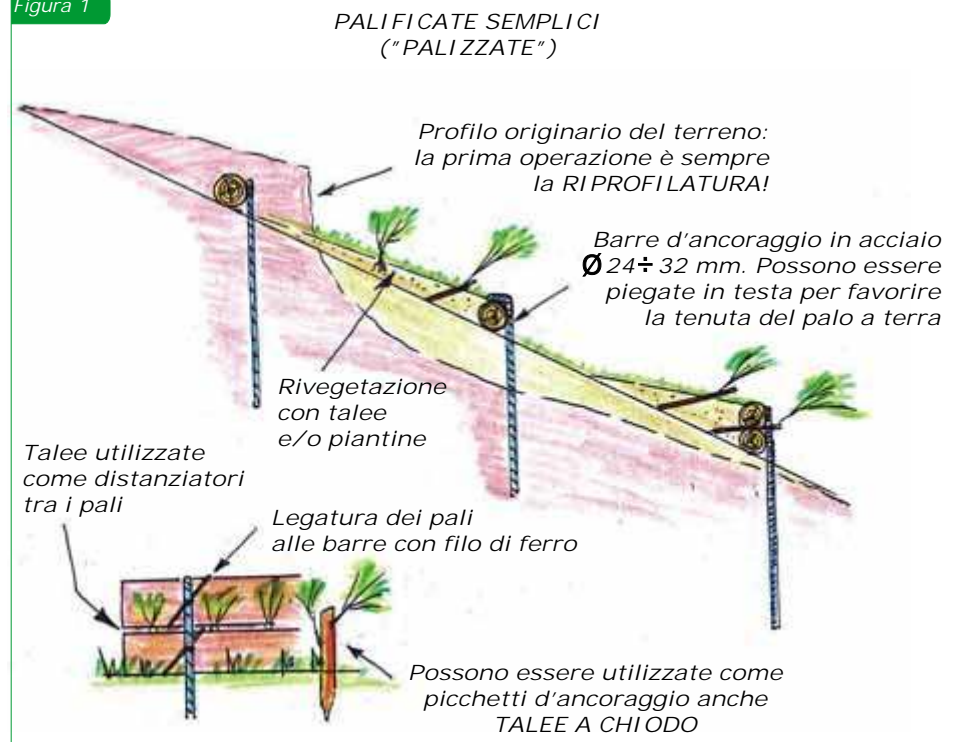
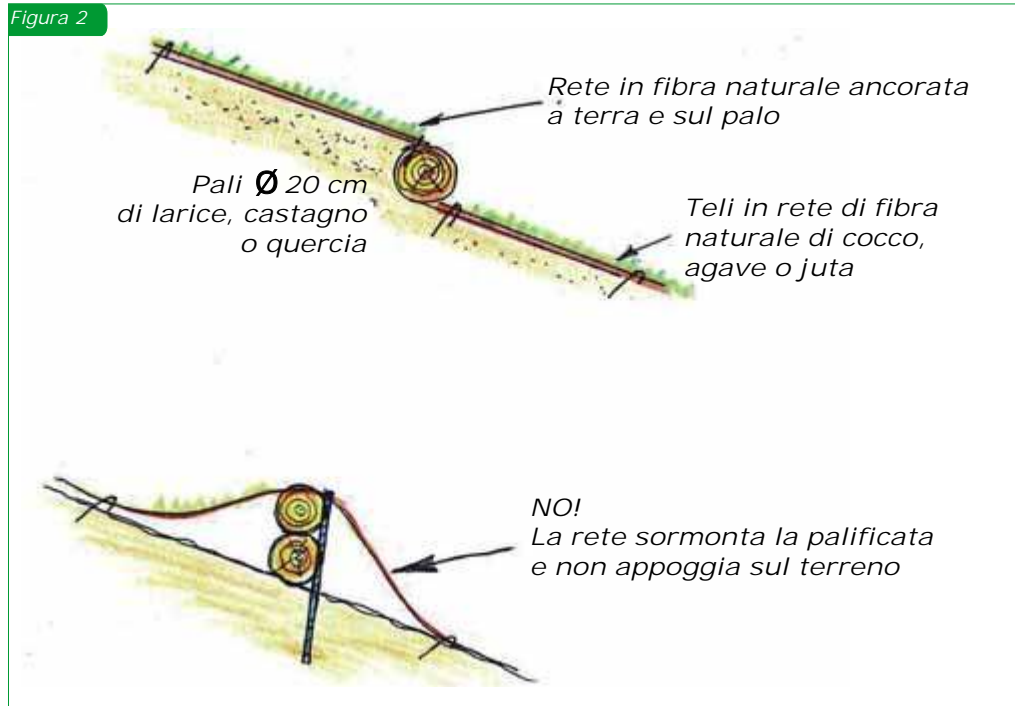
OPERE IN LEGNAME

Palificate semplici

Le palificate semplici sono opere utili alla stabilizzazione della porzione più superficiale di suolo: l'azione di consolidamento è svolta dagli ancoraggi e dallo sviluppo dell'apparato radicale delle piantine e delle talee messe a dimora dietro la paleria posata sul terreno.
Per la costruzione di una palificata semplice (*fig.1*) (detta anche "palizzata") si utilizza tondame scortecciato idoneo e durabile di latifoglia (castagno) o conifera (larice) di diametro minimo 20 cm, disposto perpendicolarmente alla linea di massima pendenza, legato e fissato a valle da picchetti (piloti) in legno o metallici, tra i quali i più usati sono i tondini in acciaio ad aderenza migliorata, infissi a profondità variabili da 1 a 2 m, con densità di circa 3 piloti al metro lineare.
La profondità dei piloti può essere incrementata, in funzione delle caratteristiche del terreno; i piloti metallici consentono una maggior profondità di infissione, soprattutto nei terreni più grossolani e pietrosi.
Per soddisfare particolari esigenze di consolidamento, possono essere previsti sistemi di ancoraggio profondo, con l'impiego di micropali o altri ancoraggi trivellati. Il foro di ancoraggio viene in questi casi iniettato con malta cementizia.
L'altezza della struttura può essere aumentata sovrapponendo più pali orizzontali (scortecciati), anche di diametro inferiore a 20 cm, per contenere una maggior quantità di terreno a monte, costituendo un gradone, che non deve comunque avere altezza superiore a 50 cm (palificate semplici a pali sovrapposti).
Le palificate possono essere disposte a formare linee continue sul versante, oppure a linee alterne, collocate a scacchiera (*fig.7*).
Subito a monte della palificata, dopo aver formato una banchina di posa, vengono inserite talee - del diametro minimo di 2 cm - di specie arbustive o arboree con alta capacità di vegetare e in grado di emettere radici dal fusto. Le talee devono essere in numero di almeno 20-30 al metro; insieme a queste o in alternativa possono essere messe a dimora piantine radicate in numero di circa 5 soggetti al metro lineare.
Tra due ordini di palificate può essere prevista la stesura di reti in fibra naturale (juta, agave, cocco) con funzione antierosiva. Il terreno viene inerbito mediante idrosemina o semina manuale a spaglio.
Le modalità di costruzione e di posa delle palificate semplici dipendono dalla funzione che deve essere svolta in misura prevalente da tali strutture, al fine di ottenere:

- il consolidamento della coltre superficiale di terreni sciolti relativamente omogenei;
- la trattenuta di materiale superficiale soggetto a dilavamento e rotolamento di ciottolame e pietrame;
- la rivegetazione e il consolidamento di superfici in erosione.

Figura 1

Ai fini del miglioramento della stabilità del terreno svolge una funzione fondamentale la corretta e adeguata infissione dei piloti di ancoraggio: i migliori risultati vengono conseguiti con l'impiego di pali in legno, infissi con un mezzo meccanico (miniescavatore + martellone idraulico) a interassi pari a 2 - 3 volte il diametro del tondame utilizzato, costipando il suolo in modo ottimale.
Su versanti ciottolosi e pietrosi è sicuramente preferibile, data la maggiore difficoltà di infissione, l'utilizzo di piloti in acciaio (tondini ad aderenza migliorata di diametro minimo 24 mm), ottenendo i migliori risultati di trattenuta di materiale con l'impiego di palificate a pali sovrapposti.
Nel caso di superfici in erosione, da consolidare e rivegetare, assume la massima importanza la ricollocazione del terreno franato, ai fini della ricostituzione dell'andamento originario del pendio, con l'impiego di materiali inerti terrosi e dello "scotico" accantonato, provenienti dalle precedenti operazioni di movimento terra o anche da aree esterne al cantiere.
Il ricarico di terreno fertile, la posa di talee e piantine dietro la struttura e l'inerbimento di tutte le superfici interessate dai lavori rappresentano la componente vegetale dell'opera , utile ad ottenere la necessaria stabilità della struttura stessa e del terreno (*fig.3*).
Particolare attenzione dovrà quindi essere rivolta al drenaggio e alla regimazione delle acque superficiali, soprattutto nei punti di affioramento, ottenendo nel contempo, con il terrazzamento e la diminuzione delle pendenze della scarpata, il miglioramento della capacità di trattenuta delle acque da parte del versante (*figg.5-6*).

In relazione all'impiego del materiale legnoso, il tondame scortecciato di latifoglia o conifera deve avere un diametro minimo di 20 cm (8 - 10 cm per piloti verticali in legno e per soluzioni con impiego di pali orizzontali sovrapposti); si sottolinea come sia di fondamentale importanza l'impiego di paleria scortecciata e di specie con caratteristiche meccaniche e di durabilità ottimali, quali il castagno e il larice.

Successione operativa

1. Realizzazione di banchine tramite scavo manuale o meccanico, con l'eventuale tracciamento dei percorsi per il transito di un miniescavatore; ai fini di un corretto convogliamento delle acque le banchine dovranno essere realizzate in pendenza nella direzione di scarico prevista;
2. Infissione dei piloti di ancoraggio alle distanze previste (di norma da 30 a 80 cm), eventualmente avvalendosi del mezzo meccanico (miniescavatore + martellone idraulico); (*fig.4*)
3. Disposizione dei pali orizzontali (correnti) a monte dei piloti di ancoraggio;
4. Fissaggio dei pali agli ancoraggi tramite chiodatura, bullonatura o legatura;

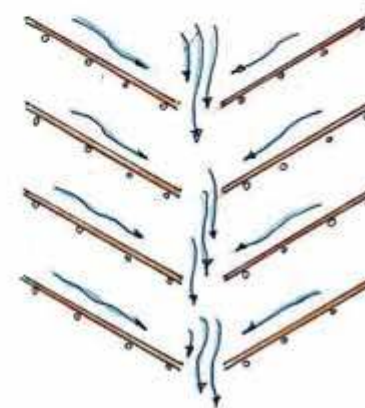
5. Disposizione di talee e/o piantine radicate di specie arbustive e/o arboree dotate di elevata capacità di vegetare e in grado di emettere radici dal fusto interrato (minimo 20 talee e/o 5 piantine al metro lineare). Nel caso delle palificate a pali orizzontali sovrapposti è possibile inserire la vegetazione tra un palo e l'altro, avendo cura di separare gli stessi con dei cunei in legname al momento della posa della paleria.
6. Gli strati di materiale vegetale dovranno essere possibilmente posati su terreno fine e ricaricati accuratamente per evitare la formazione di sacche d'aria, utilizzando la terra proveniente dalle operazioni di regolarizzazione del terreno e con l'eventuale aggiunta di terreno più fertile, al fine di migliorare le caratteristiche nutrizionali del substrato. Dopo l'operazione di riporto del terreno si procederà alla potatura ("spuntatura") delle talee, in modo che le stesse non sporgano per più di un quinto della loro lunghezza e comunque non oltre i 5 cm: la spuntatura o potatura della parte aerea deve essere effettuata con un taglio netto, inclinato verso il basso (con la faccia tagliata che guardi il terreno).
7. A completamento della sistemazione del versante, nel caso di impiego di più linee di palificate, in presenza di substrati poveri di scheletro pietroso, è possibile procedere alla stesa di reti in fibra naturale, ancorate con picchetti in acciaio ben aderenti al terreno, posate nelle zone intercluse tra i vari ordini di palificate ed eseguendo una semina manuale o idraulica in modo diffuso su tutto il pendio sia prima sia dopo la posa delle reti (*fig.2*).

Fig.4: particolare della legatura dei pali orizzontali all'elemento di ancoraggio ("pilota")

Relativamente ai limiti costruttivi, il principale problema che può verificarsi nell'impiego di questa tecnica è la difficoltà di infissione dei piloti in legno, qualora si incontrino formazioni ghiaioso - ciottolose o moreniche: in tal caso occorre procedere all'infissione di piloti metallici (tondini o profilati), altrimenti si dovrà ricorrere ad altre tecniche di consolidamento superficiale. Si è già detto inoltre che, al fine di stabilizzare il versante di lavoro e di favorire un appoggio continuo del traverso in legname, può essere opportuno prevedere il rimodellamento delle scarpate per ottenere pendenze compatibili anche con una rivegetazione naturale delle superfici. Un pronto inerbimento, assieme alla posa di antierosivi è di fondamentale importanza per il completamento dell'intervento ed eviterà la formazione di un tipico difetto di messa in opera, consistente nello svuotamento della palificata (*v. fig.7, in basso a destra*).

Figura 5

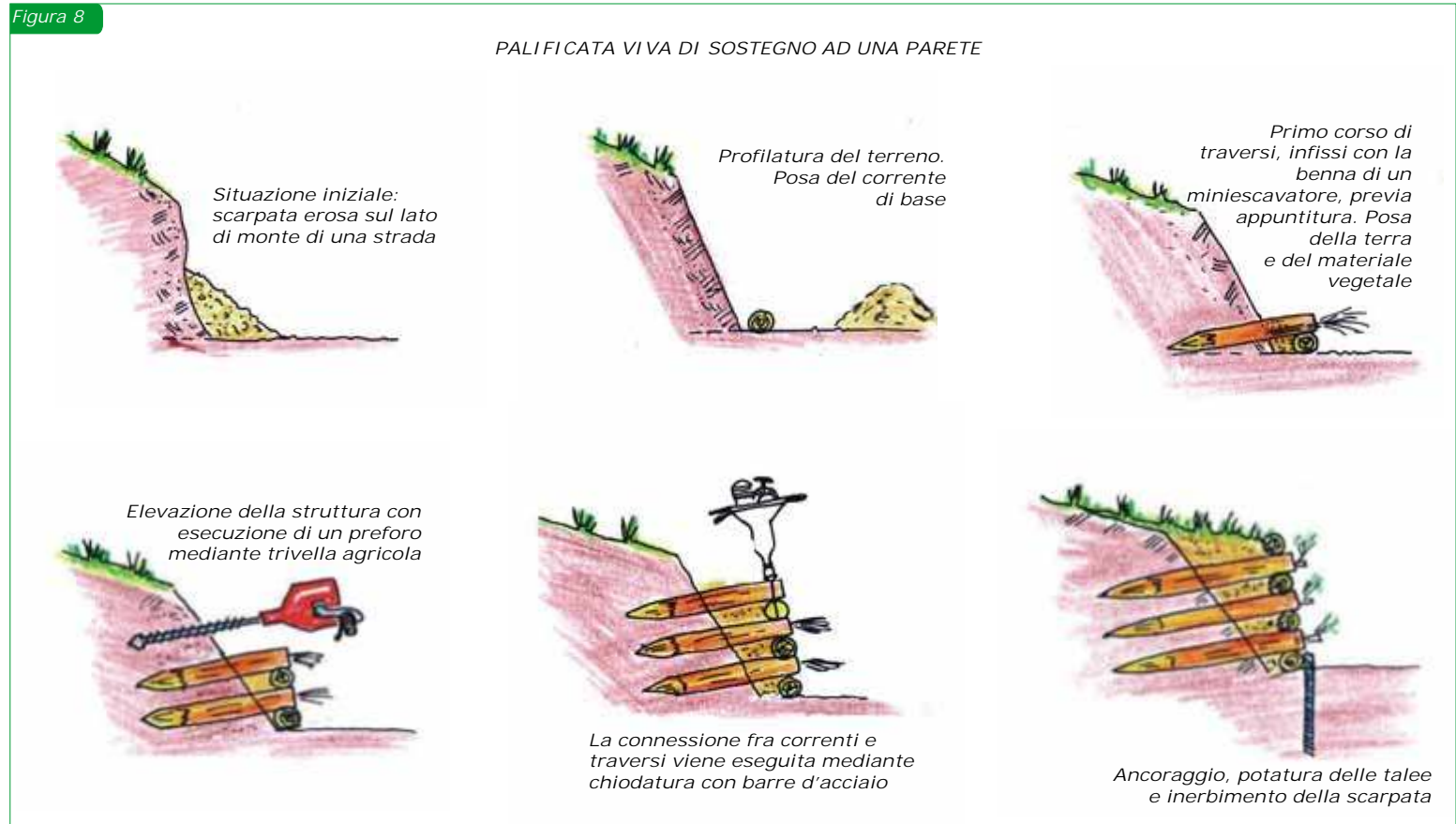
Figura 6

Figura 7

Palificate vive di sostegno

Le palificate vive di sostegno a una parete costituiscono una evoluzione delle palificate semplici, data dall'inserimento di pali trasversali (traversi) tra i pali orizzontali sovrapposti (correnti). Anche queste strutture sono ancorate alla base da pali in legno o tondini in acciaio ad aderenza migliorata (del diametro minimo di 32 mm). Il tondame utilizzato, di legno idoneo e durabile di latifoglia (castagno) o conifera (larice), ha diametro di 20 - 25 cm. L'elevazione di questa struttura consente il recupero di quote maggiori rispetto alla palificata semplice e, rispetto alle palificate di sostegno a doppia parete, di seguito descritte, richiede un minore volume di scavo. Per conferire alla stessa maggiore stabilità e capacità di consolidamento possono essere aumentate sia la lunghezza e la dimensione degli ancoraggi, sia quella dei traversi in legname, che vengono infissi nel pendio, da cui deriva anche la denominazione della struttura come “palificata ad infissione”.
Il completamento dell'opera si ha con il riempimento dello spazio residuo individuato fra il pendio e la parete in legname con strati di materiale terroso proveniente dallo scavo stesso o riportato, alternati alla posa di talee o piante disposte vicine orizzontalmente, appartenenti a specie arbustive e/o arboree dotate di elevata capacità di vegetare e in grado di emettere radici dal fusto interrato (minimo 100 talee e/o 5 piantine radicate per metro quadrato di facciata esterna).
I migliori risultati nella realizzazione dell’opera si ottengono quando sia possibile effettuare agevolmentel'infissione dei traversi nel versante e quando siano previsti montanti verticali o piloti che stabilizzino la parte in elevazione della struttura (*fig.8*).
L'ambito tipico di impiego è pertanto:

- il consolidamento di scarpate a monte di tracciati stradali;
- il consolidamento spondale.

Le palificate vive di sostegno ad una parete possono anche essere validamente integrate con le strutture di tipo tradizionale: possono quindi essere disposte sopra massi da scogliera o muri.
Il limite di impiego è dato essenzialmente dall'entità delle spinte del terreno che possono verificarsi e dal non elevato peso dell'opera, a paragone delle strutture tradizionali. Al tempo stesso un vantaggio è costituito dal fatto che esse non risentono di variazioni anche significative dell'assetto del piano di posa e non gravano di ulteriori sovraccarichi il versante oggetto di sistemazione, particolarmente quando sono poste nelle posizioni più alte del versante stesso.
Un altro limite di impiego è dato dall'utilizzo quale difesa di sponda, per analoghe ragioni di leggerezza e durabilità, e per la possibilità che, in ambito fluviale e torrentizio, correnti veloci siano in grado di provocare lo svuotamento della struttura.
Anche in questo caso può risultare più valido l'impiego di una struttura integrata, costituita ad esempio da una palificata poggiante su una fondazione di massi da scogliera.

Figura 8

PALIFICATA VIVA DI SOSTEGNO AD UNA PARETE

1. Scavo di sbancamento per la realizzazione del piano di posa della struttura; questo deve essere eseguito con una lieve contropendenza verso monte, dell'ordine di 5° - 20°. Considerato che l'opera viene realizzata in parte ad infissione, i volumi di scavo saranno limitati a quanto necessario per permettere la posa degli elementi longitudinali (correnti), in quanto quelli trasversali (traversi) saranno infissi nella parete di scavo per la gran parte della loro lunghezza.
2. Posa del primo ordine di elementi longitudinali (correnti), di lunghezza normalmente variabile da 3 a 6 m e diametro minimo 20 - 25 cm, in legno durabile di latifoglia (castagno) o conifera (larice), opportunamente scortecciato. Il legname dovrà avere le medesime caratteristiche già indicate per le palificate semplici.
3. Giunzione longitudinale degli elementi mediante incastro e chiodatura con tondini, di lunghezza pari alla somma dei diametri che devono vincolare, o graffe in acciaio ad aderenza migliorata (di diametro 12 - 16 mm), infissi, previa foratura del tronco (con punte da trapano del diametro di 10 - 14 mm), mediante battitura.
4. Preparazione e sagomatura a punta degli elementi trasversali e loro infissione con una lieve contropendenza verso monte, dell'ordine di 5° - 20°, a formare il primo ordine di traversi, a interassi da 1 a 2 m (normalmente 1.5 - 1.7 m). Ai fini della stabilità della struttura potranno essere realizzati appositi incastri tra i pali e l'infissione profonda dei traversi nella parete di scavo; ciò comporta la sagomatura a punta della estremità dei traversi e l'eventuale loro rinforzo con “puntazze” metalliche; l'infissione potrà essere agevolata dalla realizzazione di un preforo mediante trivellatrice portatile a rotazione.
5. Collegamento dei traversi ai correnti con tondini o graffe, secondo le modalità e con l'impiego dei materiali di cui al punto 3, operando anche eventuali sagomature in corrispondenza dei punti di contatto.
6. In taluni casi può essere prevista la disposizione di piloti verticali di ancoraggio infissi profondamente nel terreno (almeno 1,5m). I piloti, secondo le diverse varianti costruttive, possono essere costituiti da tondini di acciaio ad aderenza migliorata di diametro minimo 32 mm, ovvero da profilati a T o tubolari disposti anteriormente ai correnti, oppure da pali in legno di diametro non inferiore a 10 cm, disposti posteriormente ai correnti.
7. In corrispondenza all'incrocio tra correnti, traversi e piloti verticali in legname potranno effettuarsi le giunzioni con legature, chiodi, graffe, staffe, ecc., secondo le modalità già descritte per le giunzioni longitudinali e trasversali.
8. Il riempimento della struttura deve essere di norma effettuato a strati, al fine di ottenere il massimo grado di compattazione interna, e realizzato con materiale terroso e materiale vegetale. Il terreno riportato può essere quindi addizionato con ciottolame, ove sia necessario sortire maggiore effetto drenante e raggiungere più elevati valori di peso specifico del materiale di riempimento, ovvero con terreno più fertile, al fine di migliorare le caratteristiche nutrizionali del substrato sul quale verrà messo a dimora il materiale vegetale.
9. Si procede quindi alla disposizione per strati di talee e/o piantine radicate (minimo 100 talee e/o 5 piantine radicate per metro quadrato di facciata esterna). Il materiale vegetale deve avere lunghezza prossima o pari alla profondità della struttura, in modo da essere a contatto con la parete di scavo e garantire una ottimale radicazione. Gli strati di materiale vegetale devono essere posati su terreno fine, in posizione suborizzontale e ricaricati accuratamente con materiale terroso, per evitare la formazione di sacche d'aria: le talee dovranno sporgere per non più di 5 cm, mentre le piantine radicate dovranno essere interrate fino al colletto radicale; la spuntatura o potatura della parte aerea delle talee deve essere effettuata con un taglio netto, inclinato verso il basso (con la faccia tagliata che guardi il terreno).
10. La struttura procede in elevazione con la ripetizione della successione operativa da 1 a 9. Nella formazione dei successivi ordini di correnti e traversi si potrà optare per una disposizione allineata o alternata dei traversi ai vari livelli della struttura, avendo cura però di eseguire sempre la giunzione tra i correnti in corrispondenza di un traverso inferiore, per evitare di creare punti di debolezza e operare così collegamenti più efficaci (*figg. da 9 a 17*).

Figura 9

Figura 10

Figura 11

Figura 12

Figura 13

Figura 14

Figura 15

Figura 16

Figura 17

Le palificate vive di sostegno a doppia parete (*figg.18-19*) sono strutture autoportanti utilizzate di regola nella ricostruzione di versanti che sono stati interessati da fenomeni franosi.
Esse possono svolgere una funzione di sostegno, contenimento al piede e consolidamento strutturale dei pendii.
La palificata di sostegno a doppia parete è un manufatto costituito da una sorta di cassone in pali di legno, riempito di materiale inerte e di materiale vegetale. Lo spessore minimo della struttura è dell'ordine del metro (tipica è la profondità di 1.5 m), per un'altezza che non supera il doppio della base, anche in strutture con la facciata esterna inclinata (*fig.20*). Altezze maggiori possono essere raggiunte con la disposizione delle palificate di sostegno a gradoni. I materiali impiegati per la costruzione sono, analogamente a quanto descritto per le strutture più semplici, pali di legno durabile di latifoglia (castagno) o conifera (larice), scortecciati e di diametro minimo 20 - 25 cm. Un adeguato ancoraggio (di profondità di almeno 1,5 m) deve essere previsto, particolarmente in formazioni fini (sabbie, limi, ecc.), mediante piloti in legno o acciaio (tondini del diametro di 32 mm o profilati) posti anteriormente alla parete di monte e/o a quella di valle: in casi particolari possono prevedersi ancoraggi profondi con impiego di micropali trivellati.
Il materiale di riempimento può essere quello derivante dagli scavi, eventualmente con aggiunta di ciottolame per migliorare le condizioni di drenaggio e di peso della struttura; la funzione drenante può essere ulteriormente migliorata usando esclusivamente materiale ghiaioso, eventualmente avvolto in geotessile nontessuto con specifica azione filtrante (cuneo filtrante).
Il riempimento con materiale di scavo fine può talora creare problemi di svuotamento della struttura; in tal caso è consigliabile rivestire l'interno della parete di valle con una rete in fibra naturale o sintetica.
Le palificate di sostegno a doppia parete trovano il loro campo di impiego nella sistemazione dei versanti, con una vastissima gamma di varianti costruttive. Come già evidenziato in merito alle palificate ad infissione, il limite di impiego è dato essenzialmente dall'entità delle spinte del terreno che possono verificarsi e dal non elevato peso dell'opera, a paragone delle strutture tradizionali. In compenso esse non risentono di variazioni anche significative dell'assetto del piano di posa e non gravano di ulteriori sovraccarichi il versante oggetto di sistemazione, particolarmente nelle posizioni sommitali.
Le palificate possono anche essere validamente integrate con le strutture di tipo tradizionale: possono quindi essere disposte sopra massi da scogliera o muri.
Un altro limite di impiego è dato dall'utilizzo quale difesa di sponda, per analoghe ragioni di leggerezza e durabilità, e per la possibilità che, in ambito fluviale e torrentizio, correnti veloci siano in grado di provocare lo svuotamento della struttura.
Anche in questo caso può risultare più valido l'impiego di una struttura integrata, costituita ad esempio da una palificata poggiante su una fondazione di massi da scogliera.

Figura 18

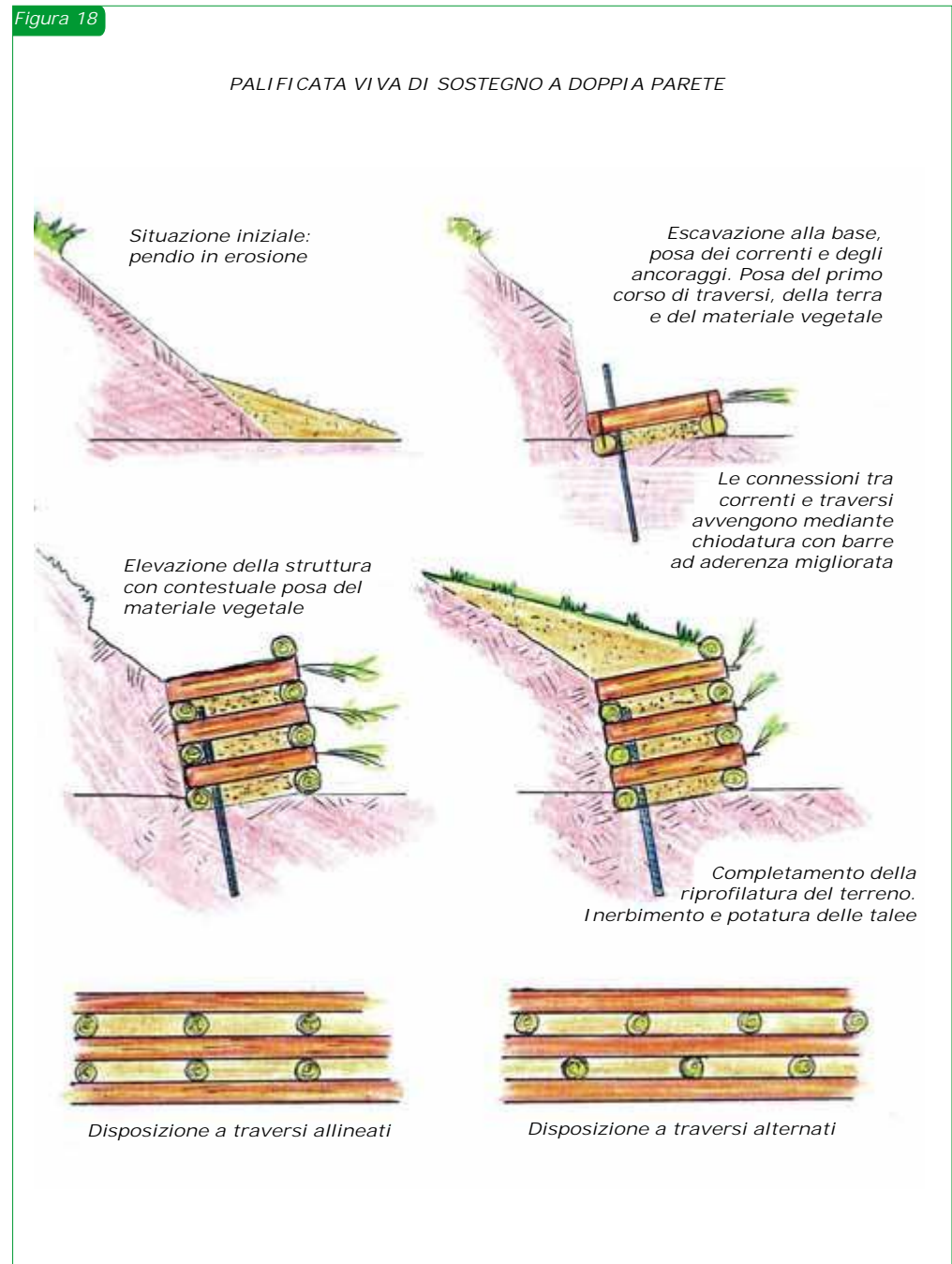
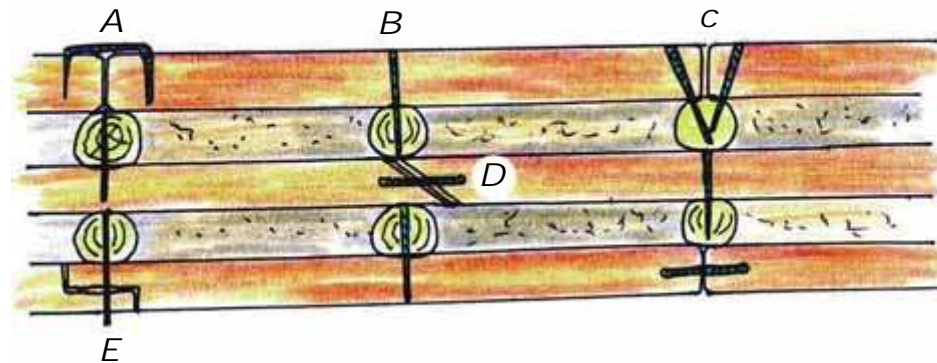
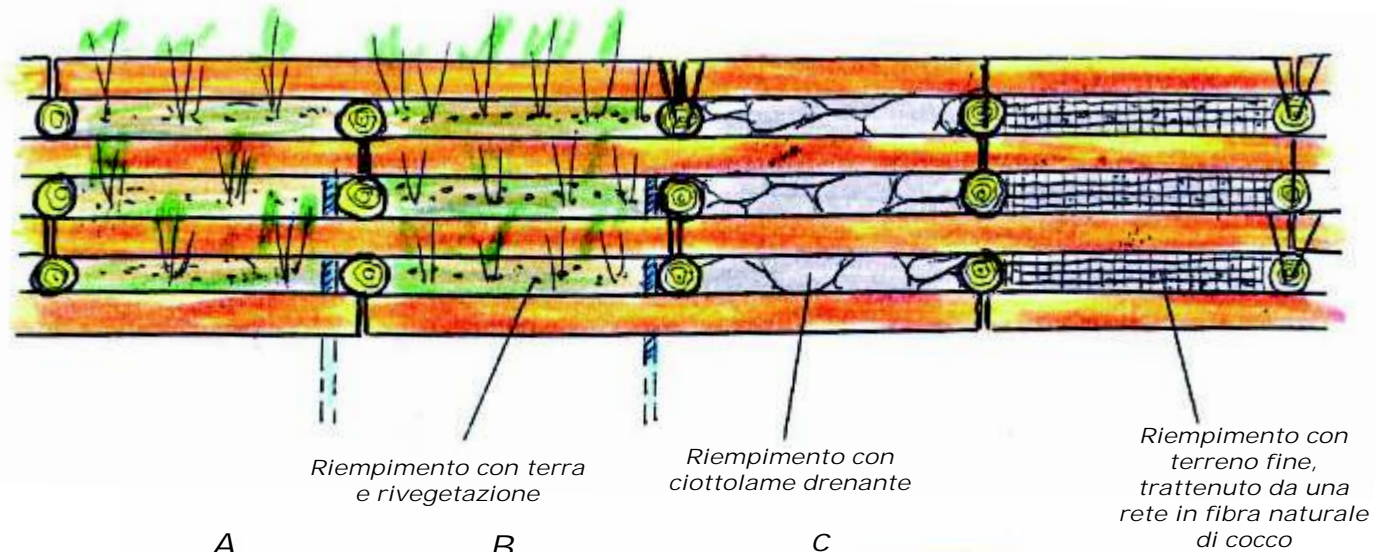
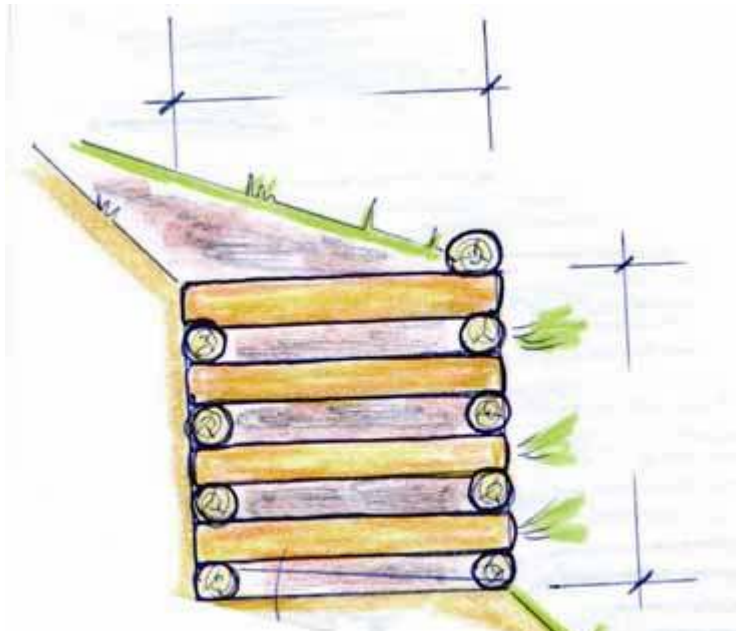
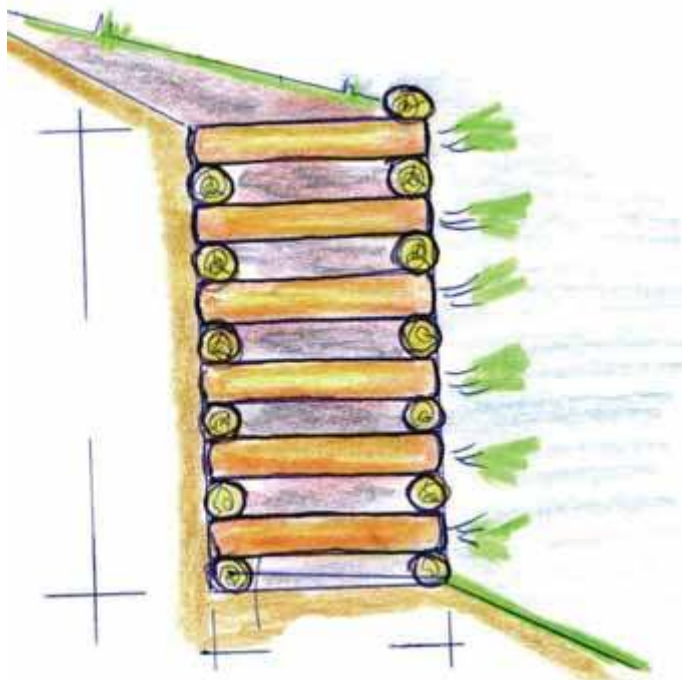



Fig.19: varianti costruttive nella costruzione di una palificata viva di sostegno a doppia parete

Figura 20

Successione operativa

1. Scavo di sbancamento per la realizzazione del piano di posa della struttura; questo deve essere eseguito con una lieve contropendenza verso monte, dell'ordine di 5° - 20°.
2. Posa del primo ordine di correnti, di lunghezza normalmente variabile da 3 a 6 m e diametro minimo 20 - 25 cm, in legno durabile di latifoglia (castagno) o conifera (larice), opportunamente scortecciato. Il legname dovrà avere le medesime caratteristiche già indicate per le strutture precedentemente illustrate.
3. Giunzione longitudinale degli elementi mediante incastro e chiodatura con tondini di lunghezza pari alla somma dei diametri che devono vincolare, o graffe in acciaio ad aderenza migliorata (di diametro 12 - 16 mm), infissi, previa foratura del tronco (con punte da trapano del diametro di 10 - 14 mm), mediante battitura.
4. Realizzazione di ancoraggi alla base della struttura, da porre anteriormente al corrente interno e/o esterno.
5. Posa del primo ordine di traversi e fissaggio ai correnti sottostanti con chiodi o graffe, a interassi da 0,5 a 2 m (normalmente da 1.0 a 1.5 m), secondo le modalità e con l'impiego dei materiali di cui al punto 3, operando anche eventuali sagomature in corrispondenza dei punti di contatto.
6. Riempimento della struttura, effettuato a strati, al fine di ottenere il massimo grado di compattazione interna, e realizzato con materiale terroso e materiale vegetale. Viene quindi impiegato il materiale di scavo, o materiale più selezionato proveniente anche dall'esterno - in funzione della necessità di migliorare i parametri di drenaggio, compattazione, densità o sviluppo vegetativo: al terreno riportato può essere quindi aggiunto del ciottolame, ove sia necessario avere un maggior effetto drenante e raggiungere più elevati valori di peso del materiale di riempimento, ovvero terreno più fertile, al fine di migliorare le caratteristiche nutrizionali del substrato sul quale verrà messo a dimora il materiale vegetale.

7. Disposizione per strati contigui di talee e/o piantine radicate di specie arbustive e/o arboree dotate di elevata capacità di vegetare e in grado di emettere radici dal fusto interrato (minimo 100 talee e/o 5 piantine radicate per metro quadrato di facciata esterna). Il materiale vegetale deve avere lunghezza prossima o pari alla profondità della struttura, in modo da essere a contatto con la parete di scavo e garantire una ottimale radicazione. Gli strati di materiale vegetale devono essere posati su terreno fine, in posizione suborizzontale e ricaricati accuratamente con materiale terroso per evitare la formazione di sacche d'aria: le talee dovranno sporgere per non più di 5 cm, mentre le piantine radicate dovranno essere interrate fino al colletto radicale; la spuntatura o potatura della parte aerea delle talee deve essere effettuata con un taglio netto, inclinato verso il basso (con la faccia tagliata che guardi il terreno).

8. La struttura procede in elevazione con la ripetizione della successione operativa da 1 a 7. Nella formazione dei successivi ordini di correnti e traversi si potrà optare per una disposizione allineata o alternata dei traversi ai vari livelli della struttura, avendo cura però di eseguire sempre la giunzione tra i correnti in corrispondenza di un traverso inferiore, per evitare di creare punti di debolezza e operare così collegamenti più efficaci. Con la disposizione allineata risulta più agevole il riempimento con mezzi meccanici, nel caso in cui questo venga effettuato, per motivi operativi, dopo il montaggio della struttura lignea: in tal modo però si dovrà comunque procedere alla posa del materiale vegetale a strati, durante le operazioni di riempimento, e non a conclusione di queste, avendo comunque cura di compattare e distribuire il terreno all'interno della struttura avvalendosi del mezzo meccanico (benna), ma anche di attrezzi manuali (pale).

Nel caso della disposizione con traversi alternati, l'effetto positivo è dato dall'aumento delle caratteristiche di rigidezza della struttura.

In riferimento alle palificate di sostegno, siano esse a parete semplice o doppia, si possono elencare i seguenti possibili difetti di costruzione:

- mancanza o inefficacia degli ancoraggi;
- svuotamento della struttura in legname;
- prematura degradazione del tondame utilizzato (particolarmente se si impiega legname non scortecciato);
- assenza del materiale vegetale vivo (talee e piantine), necessario a sostituire la funzione strutturale del legname nel tempo;
- errori nella scelta, gestione e posa del materiale vegetale vivo (specie inadeguate, errori nell'allestimento e nelle potature, metodi di conservazione sbagliati, ecc.);
- posizionamento delle giunzioni tra i correnti non in corrispondenza dei traversi;
- fessurazione della testata dei traversi con “apertura” del tronco, (particolarmente se la sporgenza dei tronchi sulla facciata anteriore della struttura è eccessiva);
- fessurazione del tondame nella giunzione con chiodi o graffe, soprattutto se vengono inseriti senza praticare il preforo con il trapano.

I limiti di applicabilità delle palificate di sostegno sono sostanzialmente:

- *nella funzione di contenimento e sostegno*, quando il pendio sia in grado di produrre spinte eccessive in direzione parallela al piano di fondazione della palificata.

Questi problemi possono essere risolti adeguando i sistemi di fondazione e ancoraggio, già descritti in precedenza, ovvero ricorrendo ad altre tipologie (opere in pietrame);

- *nella funzione di difesa spondale*, quando correnti d'acqua veloci e la capacità di trasporto solido del corso d'acqua possano determinare lo svuotamento e la disarticolazione della struttura.

Figura 21

Figura 22

Figura 23

Figura 24

Figura 25

Figura 26

PALIFICATA VIVA A DOPPIA PARETE - DETTAGLI DI LAVORAZIONE

MODALITA' DI SCAVO

POSIZIONAMENTO E GIUNZIONE TRA CORRENTI DI BASE

PALIFICATA VIVA A DOPPIA PARETE - DETTAGLI DI LAVORAZIONE

PREPARAZIONE E GIUNZIONE DI TRAVERSI SUI CORRENTI, INTESTATURA DEI TRONCHI

PER L'APPOGGIO, VIENE LAVORATA LA FACCIA INFERIORE DEL TRAVERSO!

PALIFICATA VIVA A DOPPIA PARETE - DETTAGLI DI LAVORAZIONE

POSA, PREPARAZIONE E GIUNZIONE DEI CORRENTI SUPERIORI

PER L'APPOGGIO,
VIENE LAVORATA
LA FACCIA INFERIORE DEL CORRENTE!

PALIFICATA VIVA A DOPPIA PARETE - DETTAGLI DI LAVORAZIONE

TIPOLOGIE DI INCASTRO

INCASTRO MEDIANTE TAGLIO OBLIQUO

INCASTRO A SEDIA

INCASTRO A SEDIA TIPO "SVIZZERO"

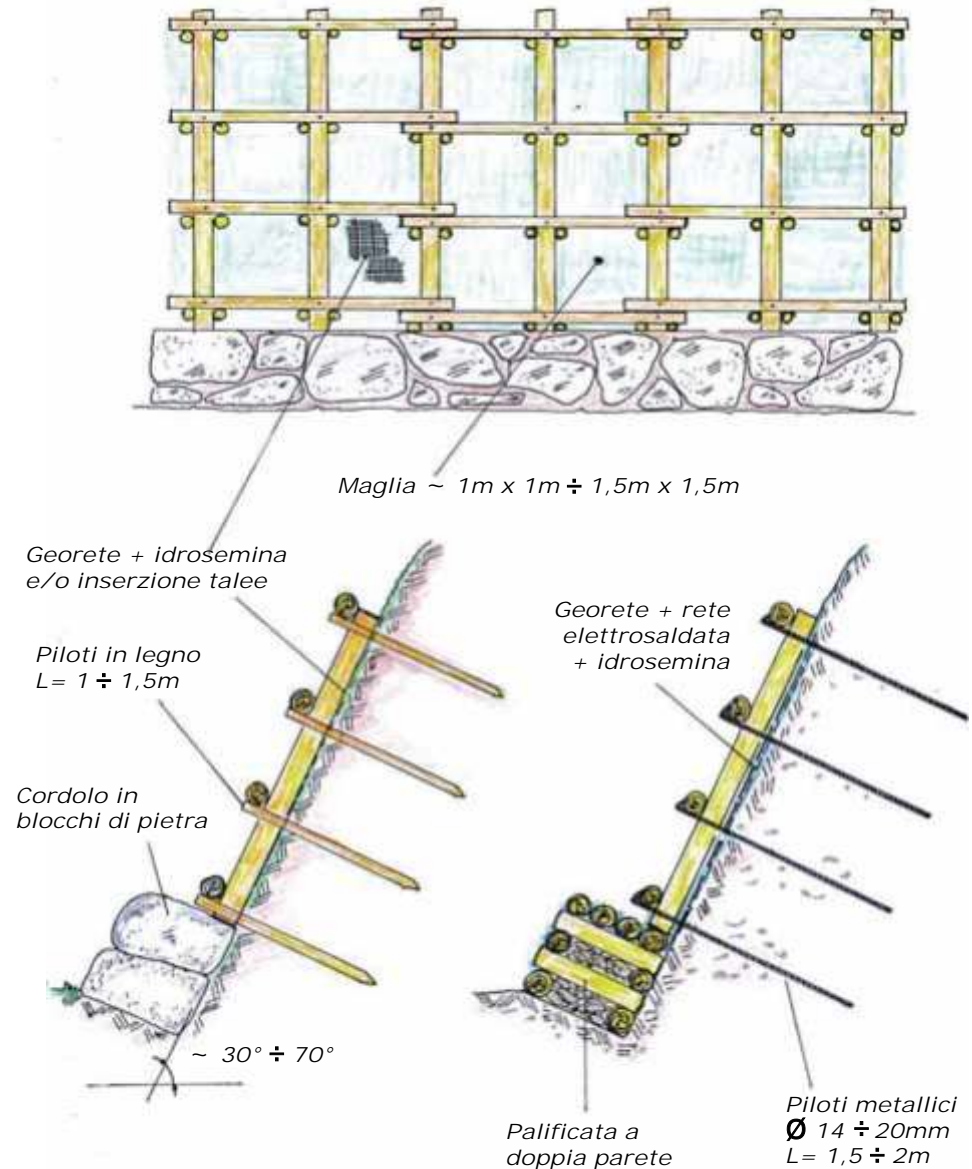
INFISSIONE ANCORAGGI

PALIFICATA VIVA A DOPPIA PARETE - DETTAGLI DI LAVORAZIONE

RIEMPIMENTO CON TERRA E MATERIALE VEGETALE

Grate vive

Le grate vive in legname rappresentano una valida tecnica di sistemazione di scarpate anche nel caso in cui ci siano elevati valori di pendenza (da 40° a oltre 60°) e non sia possibile ridurre l'inclinazione del pendio con movimenti di terra, permettendo così anche l'impiego di altre tipologie.
Il caso tipico di applicazione è nella sistemazione delle scarpate a monte di tracciati stradali.
La struttura è costituita da una serie di tronchi verticali, aderenti alla scarpata, e distanziati tra loro da 1 a 2 metri. Su questi vengono fissati, mediante tondini o graffe in acciaio ad aderenza migliorata, viti o bullonature, dei tronchi orizzontali, a costituire maglie quadrate o rettangolari (tipicamente di 1 m x 1 m, 1.5 m x 1.5 m, 1 m x 2 m, 1.5 m x 2 m, 2m x 2m).
Il tondame utilizzato, di legno idoneo e durabile di latifoglia (castagno) o conifera (larice), sempre scortecciato, ha diametro di 20 - 25 cm. La grata può poggiare direttamente sul terreno, oppure su opere di sostegno, quali palificate a doppia parete, muri in pietrame o scogliere. L'ancoraggio alla scarpata può essere effettuato mediante piloti in legno o con tondini in acciaio, per una profondità non inferiore a 1.0 - 1.5 m.
Prima della costruzione della struttura occorre che il terreno della scarpata sia ripulito da cespugliame e ciottoli, superficialmente riprofilato ed eventualmente protetto con reti antierosive o con una rete elettrosaldata. L'operazione deve essere completata con l'inerbimento mediante idrosemina e l'impianto di talee e piantine radicate all'interno dei quadri in legname. Le grate vive possono svilupparsi ad altezza notevole, purchè le scarpate oggetto di sistemazione siano opportunamente sagomate. Su scarpate ripide (oltre 50°) è opportuno non elevare la grata oltre i 6 m, altrimenti occorre che il profilo venga gradonato per non pregiudicare la stabilità della struttura, o che la grata sia realizzata in due porzioni.
La funzione prevalente svolta dalle grate vive è quella di realizzare un consolidamento superficiale di scarpate e pendii molto inclinati, soggetti a fenomeni di erosione.
Le grate vive non sono opere di sostegno, né sono in grado - in linea generale - di svolgere una funzione di contrasto delle spinte del versante, se non con l'utilizzo di ancoraggi speciali.
Le fasi operative inerenti la costruzione di una grata viva in condizioni ordinarie (con ancoraggi a infissione) sono di seguito analizzate per una situazione tipica di intervento.

Figura 27

Successione operativa

1. Profilatura della scarpata con taglio della vegetazione e abbattimento (*disgaggio*) di eventuali masse rocciose;
2. Intercettazione e allontanamento delle acque, anche con la realizzazione di canalizzazioni a monte dell'opera;
3. Stesura della rete in fibra naturale, ben aderente alla superficie di scarpata, e fissaggio con picchetti di acciaio;
4. In caso di evidente tendenza al distacco di ciottolame, pietrame o di fenomeni di fluidificazione di suolo, si effettua la posa di una rete metallica elettrosaldata sopra il telo di rete;
5. Disposizione dei montanti verticali in legno, garantendone l'aderenza al terreno;
6. Realizzazione di punti di ancoraggio al suolo: la tipologia più comunemente utilizzata prevede l'infissione (previa eventuale formazione di preforo con trivella) di tondini in barre di acciaio ad aderenza migliorata di diametro di 24-32 mm; gli ancoraggi possono essere disposti a fianco dei montanti verticali vincolati con legature con filo di ferro, oppure possono attraversarli. Gli ancoraggi sono quindi costituiti da una parte interrata (di lunghezza non inferiore a 1 m) e da una parte fuori terra di lunghezza pari al diametro del montante verticale o di lunghezza superiore (nel caso si decida di far poggiare sull'ancoraggio anche la paleria orizzontale descritta al punto successivo).
7. Montaggio delle travature orizzontali, costituite da pali in legno, collegate ai montanti mediante incastro e chiodatura con tondini di lunghezza pari alla somma dei diametri che devono vincolare, o graffe, in acciaio ad aderenza migliorata (di diametro 12 - 16 mm), infissi, previa foratura del tronco (con punte da trapano del diametro di 10 - 14 mm), mediante battitura. I pali costituenti la travatura orizzontale, inoltre, possono appoggiare sulla parte sporgente degli ancoraggi.
8. A seconda delle situazioni di impianto e dei substrati presenti, nonché del contesto in cui l'opera viene inserita, si scelgono le modalità di rivegetazione e si procede alla posa del materiale vegetale. Può essere previsto il solo inerbimento con idrosemina, o più opportunamente, l'infissione di talee direttamente nel pendio o la rivegetazione dei quadri, previo riporto di terreno fertile. In quest'ultimo caso l'inerte riportato andrà a occupare il volume individuato tra montanti e travi della struttura e potrà essere contenuto da una rete in fibra naturale o metallica.

Le grate vive possono poggiare su una fondazione di pietrame costipato, oppure su un manufatto di sostegno (muratura esistente, scogliera o palificata a doppia parete).

I limiti costruttivi delle grate vive risultano evidenti in tutte quelle situazioni in cui le superfici in scarpata sono caratterizzate dalla presenza di forti spinte del terreno o di notevoli altezze.
In tutti questi casi si dovranno adottare sistemi speciali di ancoraggio che aumentino la capacità di contrasto da parte della struttura, ovvero ricorrere a più idonee opere di sostegno e contenimento del versante.

Figura 29

Figura 30

Figura 28

Figg.28-29-30-31-32:
fasi costruttive ed elementi di una grata viva

Figura 31

Figura 32

GRATA VIVA: DETTAGLI DI COSTRUZIONE

Preparazione della base dei montanti

Trasporto e posizionamento dei montanti

Collegamento del montante al corrente intermedio esterno della palificata di sostegno

GRATA VIVA: DETTAGLI DI COSTRUZIONE

Foratura delle travi della grata

Fissaggio delle travi ai montanti mediante chiodatura

L'operatore, ai fini della sicurezza, è ancorato a monte mediante attrezzatura specifica per il lavoro in esposizione

Particolare dell'appoggio di base

Briglie in legname e pietrame

Si tratta di opere idrauliche, realizzate trasversalmente negli alvei, utilizzate per la regolazione dei corsi d'acqua e la correzione della loro pendenza (*figg.33-34*).

Le briglie in legname e pietrame vengono costruite in modo analogo alle palificate di sostegno a doppia parete, predisponendo un cassone di contenimento mediante incastellatura di pali in legno scortecciato, idoneo e durabile di latifoglia (castagno) o conifera (larice), di diametro non inferiore a 30 cm, da riempire in seguito con materiale pietroso di adeguata pezzatura e di forma irregolare e scabra, reperito anche sul posto, se disponibile ed idoneo.

Sono utilizzate per:

- la stabilizzazione e la correzione del profilo di fondo (cioè della linea che individua l'andamento altimetrico del fondo) in alvei e impluvi, riducendo la pendenza media del corso d'acqua con l'inserimento di salti per rallentare la velocità della corrente;
- la trattenuta di materiale solido o legnoso trasportato dalle acque.

Hanno in genere una tipica sagoma a trapezio rovesciato, con la parte centrale (gaveta) ribassata rispetto alle parti laterali (ali), per convogliare il deflusso delle acque da monte a valle del salto.
Presentano buona adattabilità agli assestamenti dovuti a movimenti delle sponde e possono essere messe in opera anche in luoghi di difficile accesso.
Il tratto di alveo immediatamente a valle della struttura deve essere pavimentato con pietrame per evitare fenomeni di scalzamento; è inoltre opportuno prevedere una buona penetrazione delle ali nelle sponde, onde impedire l'aggiramento della struttura da parte dell'acqua.

Figura 33

Schema di briglia in legname e pietrame con platea antierosione in massi e gaveta a coda di rondine

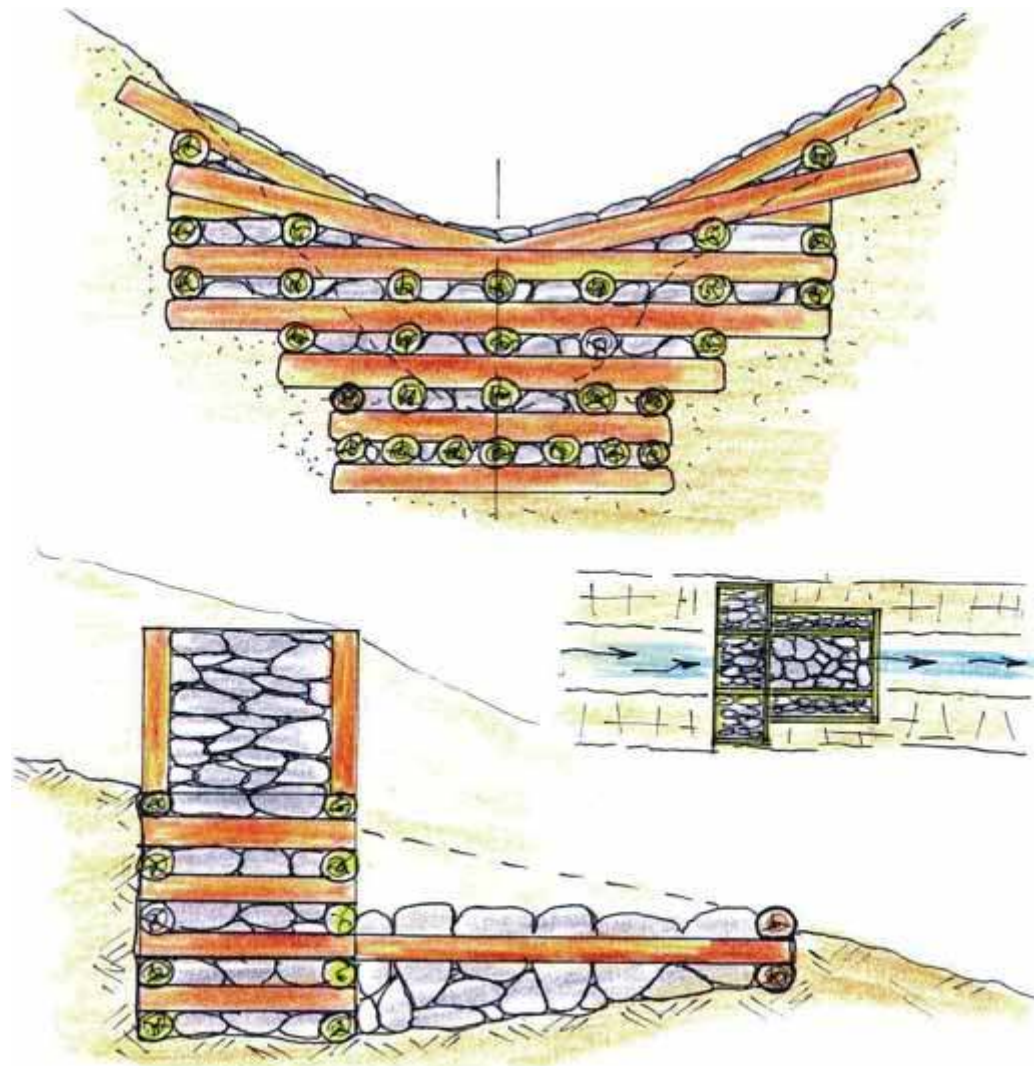
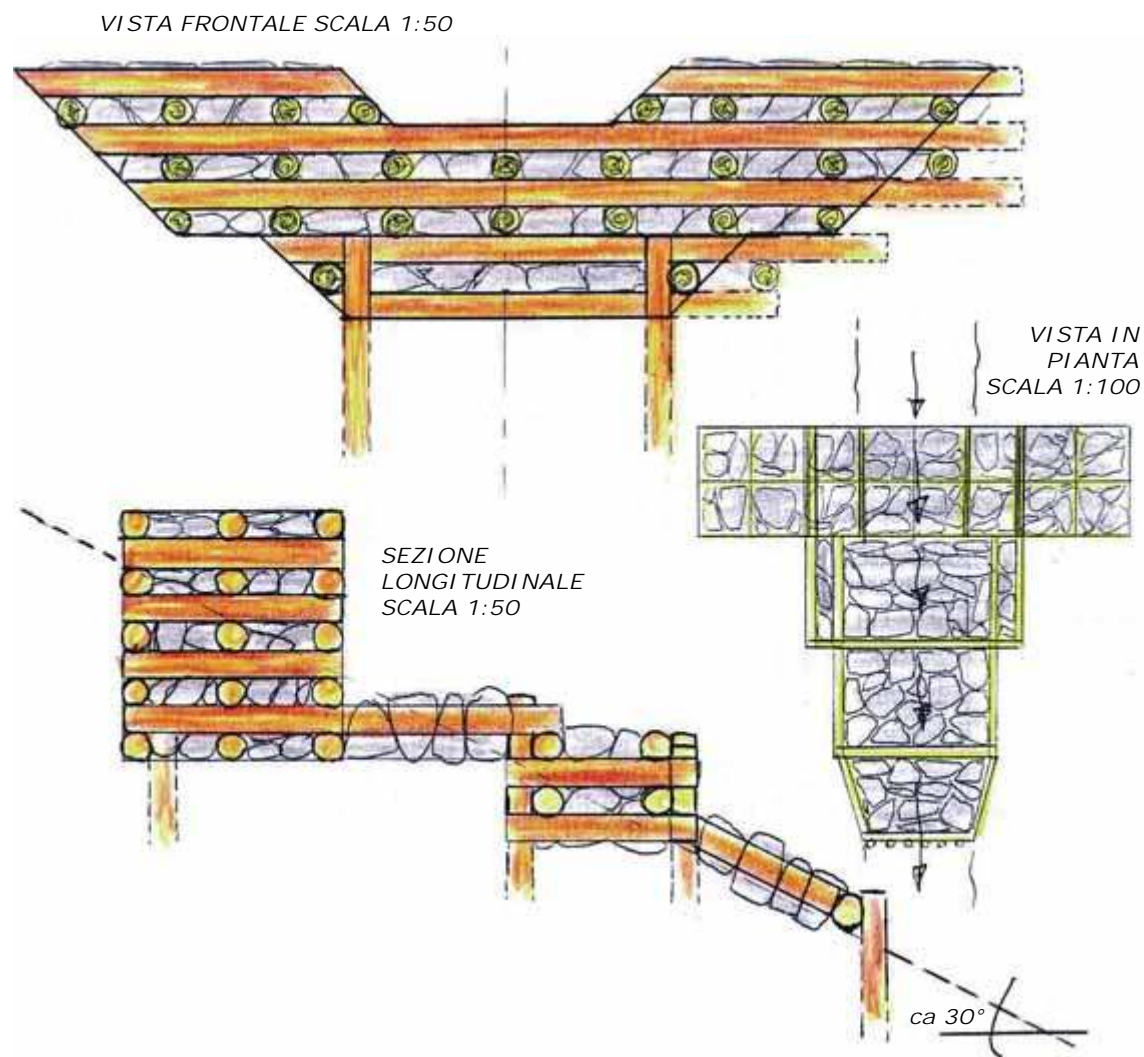



Figura 34

Schema di briglia in legname e pietrame a sezione trapezia.
E' evidenziato il raccordo tra l'opera idraulica e l'alveo naturale con rivestimenti in massi

Questo tipo di struttura necessita di una manutenzione costante che preveda lo svuotamento periodico del retrostante bacino di raccolta: appare utile perciò prevedere sempre delle vie di accesso per ogni opera.
Se le spinte idrodinamiche (dovute alla velocità dell'acqua, alla quantità di acqua e alla presenza di molto materiale solido trasportato) risultassero eccessivamente elevate, sarà opportuno valutare soluzioni costruttive di tipo tradizionale (briglie in cemento e/o massi).
Queste opere sono strutture drenanti, il che determina minori problematiche in relazione ai fenomeni di sifonamento (quando l'acqua passa sotto la struttura, erodendo tutto il terreno sulla quale poggia) e di sottospinta idraulica (quando l'acqua, presente sotto la struttura, cerca di sollevarla), cui sono soggette le opere tradizionali.
Dovendo realizzare un "cassone" in legname, le modalità costruttive sono simili a quelle della palificata di sostegno a doppia parete, ma vanno a costituire una struttura di aspetto analogo alle briglie in muratura, normalmente usate nell'ambito delle sistemazioni idrauliche.

Il corpo della briglia è costituito da:

1) una parte di fondazione, saldamente ancorata al fondo alveo con le stesse modalità già descritte per le palificate di sostegno;
2) una parte in elevazione, che rappresenta il salto tra monte e valle della struttura;
3) una parte sommitale, costituita da un intaglio a forma di trapezio rovesciato (gaveta), atto a convogliare il deflusso liquido e da ali laterali, ben ammorsate nelle sponde;
4) a valle del salto è in genere prevista una platea di dissipazione dell'energia dovuta al moto del flusso idrico, costituita da massi di idonea pezzatura, ben ammorsati e fondati nel terreno.
Il piano di appoggio della struttura deve essere uniforme e privo di sporgenze, con una eventuale contropendenza compresa tra i 5° e i 10°.

Si procede quindi alla posa dei correnti e dei traversi, così da realizzare la sagoma prevista in progetto; l'interasse utilizzato tra i tronchi può essere minore rispetto a quello comunemente previsto per le palificate di sostegno, anche per una miglior trattenuta del materiale pietroso di riempimento. Si ricorda che il legname da impiegarsi deve avere ottime caratteristiche di durabilità, deve essere opportunamente scortecciato e, soprattutto nell'ambito delle sistemazioni idrauliche di alvei torrentizi montani, deve essere di diametro non inferiore a 30 cm.

Nelle briglie in legname e pietrame risulta preferibile la costruzione a traversi allineati, in modo da costituire dei cassoni di contenimento del materiale drenante, che possano essere agevolmente riempiti con impiego di mezzi meccanici. Per lo stesso motivo deve essere previsto un infittimento dei traversi alla base della struttura, al fine di evitare fuoriuscite di materiale dal fondo del cassone.

I vari corsi dovranno essere preparati in modo che i tronchi siano perfettamente poggianti in tutti i punti di contatto con quelli sottostanti, previa eventuale costituzione di piccoli incastri, realizzati sempre sulla faccia inferiore dell'elemento da lavorare. Le chiodature si effettuano con tondini in acciaio ad aderenza migliorata (di diametro 12 - 16 mm) di lunghezza pari alla somma dei diametri che devono vincolare. I fori, di diametro leggermente inferiore a quello del tondino, devono attraversare completamente i pali che si intendono vincolare. Può essere previsto, in aggiunta, l'utilizzo di graffe in acciaio.

Il materiale di riempimento (*figg.35-36*) dovrà essere costituito da pietrame di pezzatura grossolana, meglio se a spigoli vivi, e accuratamente collocato in modo da evitare che possa fuoriuscire dalla struttura del manufatto: a tal proposito è opportuno che il pietrame che viene collocato nelle parti a diretto contatto con l'esterno, cioè nelle porzioni di facciata, sia posato manualmente.

Le ali della briglia possono essere ulteriormente riempite con terra e materiale vegetale vivo (talee). In tal caso il materiale di riempimento dovrà essere compattato, corso dopo corso, per formare il piano di posa del materiale vegetale, il quale dovrà essere subito ricoperto da uno strato di terra per assicurarne l'attecchimento.

Le giunzioni tra i correnti, da realizzarsi con le modalità operative già precedentemente illustrate, devono essere sempre eseguite in corrispondenza di un traverso inferiore, fra di loro sfalsate in altezza per non creare una continuità di punti deboli nella struttura.

La gaveta viene generalmente realizzata in posizione centrale, con la caratteristica forma trapezia rovesciata. Particolare cura va dedicata alla copertura della struttura, che può essere effettuata con semitronchi o con tondelli in legname allineati e chiodati. In taluni casi può risultare preferibile l'incastro di massi in lastre, che garantiscono maggiore sicurezza nei riguardi di erosione e abrasione superficiale.

In modo analogo va curata la superficie posta a valle del salto, per la quale devono essere previste le necessarie misure atte a evitare l'erosione di fondo alveo e il conseguente scalzamento dell'opera. Si può quindi prevedere il rivestimento del tratto di fondo alveo con massi di pietrame di elevate dimensioni, disposti a incastro (*figg.37-38-39*).

Figura 35

Fig.35: preparazione dello scavo

Figura 36

Fig.36: riempimento della briglia con pietrame di pezzatura grossolana

Figura 37

Figura 38

Figg.37-38-39: costruzione di una briglia con platea di dissipazione in massi e legname, poste a valle del salto

Figura 39

Figura 40

Figura 41

Figg.40-41-42-43: fasi costruttive di una briglia con ali molto pronunciate

Figura 42

Figura 43

Figura 44

Opere in pietrame

OPERE IN PIETRAME

Manufatti di sostegno

I **muri in pietrame**, a secco o con malta cementizia, sono opere di sostegno il cui utilizzo ha - nelle regioni alpine - origini antichissime. Caratteristico è l'impiego di pietrame di forma spigolosa e irregolare raccolto sul luogo di costruzione. La costruzione di muri in pietrame, particolarmente di quelli a secco, richiede manodopera specializzata, e avviene a partire da un piano di fondazione ricavato con scavo a pareti verticali avente di norma profondità dell'ordine del metro. Il fondo dello scavo può essere regolarizzato e stabilizzato con la stesura di uno strato di magrone cementizio. L'elevazione avviene per strati regolari, utilizzando pietrame di varia dimensione, ma di volume comunque movimentabile manualmente, ottenendo spessori della struttura generalmente di circa 0.5 m, talvolta più ridotti verso l'alto.
Il muro in pietrame a secco è una struttura di sostegno perfettamente drenante.

Le **scogliere intasate con terra e rivegetate** sono opere di sostegno ottimamente impiegate per il contenimento al piede di versanti e scarpate. Per la posa in opera vengono utilizzati escavatori, in grado di movimentare blocchi di elevata pezzatura media (da 0.3 m^3 a oltre 1 m^3) e di forma irregolare.
L'elevazione avviene attraverso la formazione di uno o più strati successivi, alternando i blocchi di dimensioni maggiori con quelli di dimensioni minori, al fine di ottenere il miglior incastro possibile e la massima stabilità della struttura. Dopo la formazione di ogni ordine di massi, occorre stendere strati di terra vagliata, anche proveniente da fuori cantiere, per ottenere l'intasamento dei vani vuoti presenti tra i massi e consentire l'insediamento della vegetazione.
Le operazioni di rivegetazione saranno realizzate attraverso inerbimenti manuali o a pressione e potranno essere impiegate anche talee e/o piantine di specie arbustive e arboree, nel caso in cui le radici o l'estremità di base delle talee possa essere posta a contatto della scarpata terrosa retrostante l'opera, al fine di permettere la radicazione della vegetazione.
A tal proposito è opportuno mettere a dimora - nella zona di riempimento con terra - il materiale vegetale durante la costruzione dei vari strati, avendo cura di non danneggiarlo con la posa del materiale pietroso. Dove quindi si prevede di impiegare materiale arboreo/arbustivo, la scogliera dovrà essere costituita, nel senso della profondità, da un solo strato di massi: sarà così possibile rivegetarla anche dopo la sua costruzione, inserendo nei vani, con la tecnica delle talee a chiodo, materiale di idoneo diametro.
Queste strutture sono caratterizzate da buona deformabilità (assorbono gli assestamenti del terreno) e capacità di drenaggio.

Figura 1

Figura 2

Figura 3

Opere spondali

Tra le opere idrauliche finalizzate a costituire difese spondali per contrastare l'attività erosiva dei corsi d'acqua, la **scogliera in massi di cava rivegetata** risulta essere quella di più vasta applicazione, soprattutto in zone alpine: in tale ambito infatti l'attività torrentizia è caratterizzata da elevate capacità di trasporto di massa e detriti.
Occorre da subito ricordare che questi manufatti, che prevedono l'impiego di mezzi d'opera per l'effettuazione di scavi in alveo e movimentazione di materiali, devono essere realizzati in periodi che non interferiscono con la stagione riproduttiva della fauna ittica.
Caratteristiche evidenti di queste tipologie di opere in alveo sono:

- la parte di fondazione della scogliera è realizzata in massi di cava di adeguata pezzatura (non inferiore a 0.3 m^3, talora superiore a 0.8 m^3 - 1 m^3). E' molto approfondita, in quanto deve essere realizzata tutta al di sotto della quota di fondo alveo e può anche essere intasata con calcestruzzo;
- la parte in elevazione dalla quota di fondo alveo è anch'essa realizzata in massi di cava di adeguata pezzatura (0.3 1 m^3) e di forma irregolare: la quota di elevazione non deve superare quella della sponda naturale;
- i vani presenti tra i massi vengono intasati con terra di scavo o proveniente da fuori cantiere;
- l'inerbimento diffuso delle sponde viene effettuato mediante semina a spaglio o idrosemina;
- l'eventuale inserimento nella porzione superiore della scogliera di talee di specie arbustive dotate di elevata capacità di vegetare si effettua al di sopra della quota corrispondente al livello raggiungibile dalle piene stagionali; nel caso in cui si voglia impiegare materiale arboreo/arbustivo, la scogliera dovrà quindi essere costituita, nel senso della profondità, in questa parte superiore, da un solo ordine di massi: sarà così possibile rivegetarla anche dopo la sua costruzione inserendo nei vani, con la tecnica delle talee a chiodo, materiale di idoneo diametro;
- il materiale vegetale (talee) dovrà essere di lunghezza tale da raggiungere il contatto con la superficie terrosa di scavo retrostante la struttura e, preferibilmente, dovrà essere di diametro superiore ai 3 cm; inoltre dovrà sporgere sul paramento per non più di 5 cm, a fronte anche di eventuali operazioni di potatura successive alla posa, secondo le modalità già illustrate nelle precedenti tipologie costruttive.

Nel caso in cui non si giudichi opportuno procedere all'impiego di astoni e talee, alle operazioni di rivegetazione della struttura si potrà comunque provvedere, mediante la semina (manuale o idraulica) di miscugli erbacei, al posizionamento nei vani tra i massi di eventuali zolle di erba provenienti da precedenti sbancamenti: tali operazioni potranno essere effettuate successivamente alla costruzione dell'intera opera, a fronte di un ottimale intasamento con terra dei vani durante la costruzione della struttura.

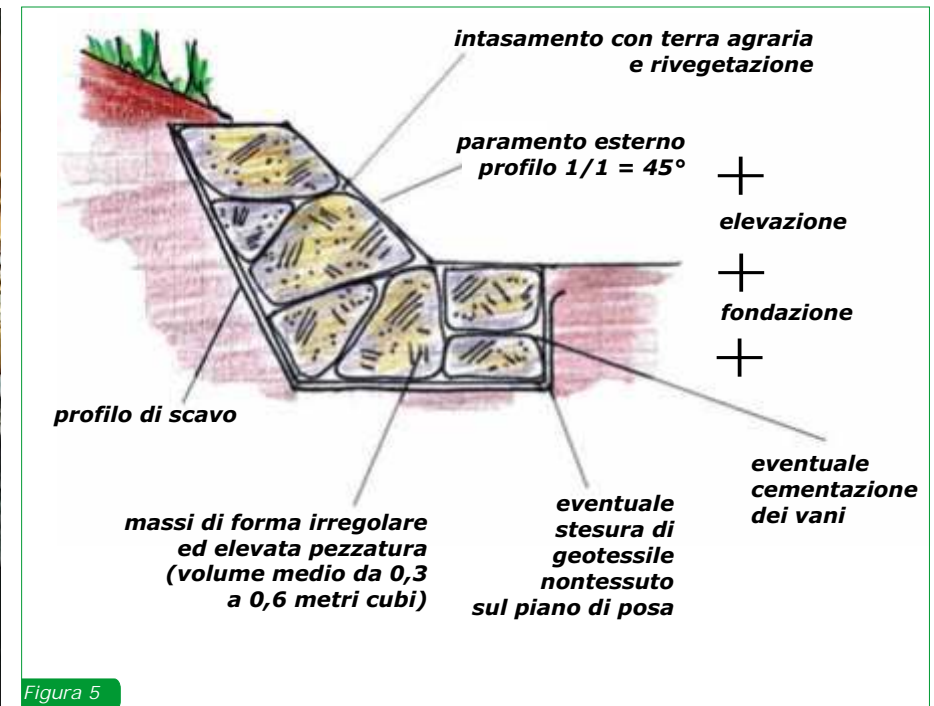



Figura 4

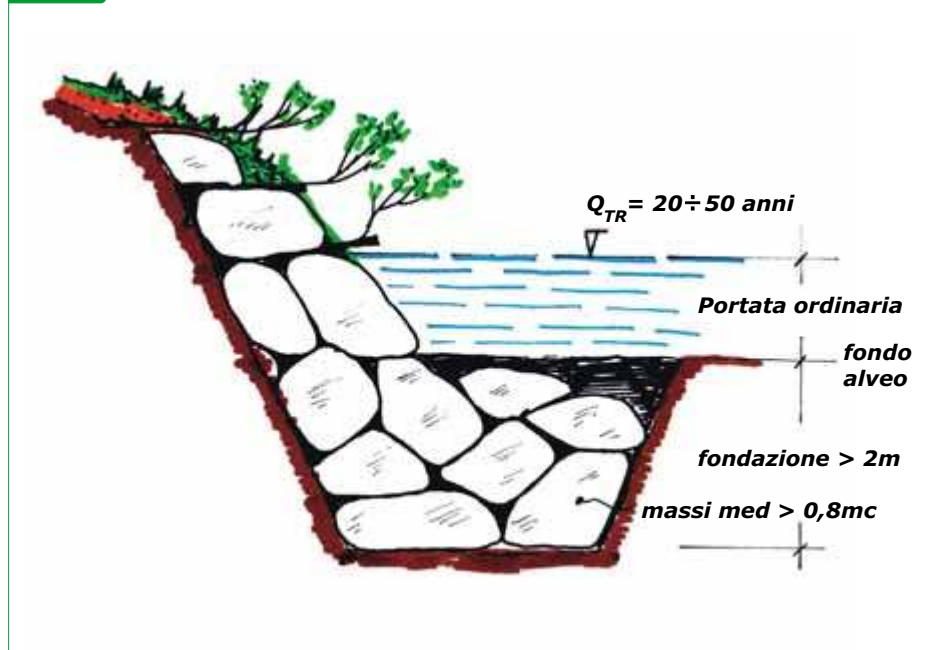



Figura 5

Figura 6

Fig.6: schema di difesa spondale in massi di lava intasati con terra agraria, rinverdita con impianto di talee arbustive ed inerbimento

Figura 7

DA EVITARE!!!

profilo esterno molto inclinato

utilizzo di massi piccoli e arrotondati

utilizzo di massi serpentinosi contenenti amianto

cementazione superficiale

scarsa profondità di scavo e di fondazione

DA EVITARE!!!

innalzamento rispetto al piano di campagna delle difese spondali

utilizzo di pietrame non idoneo

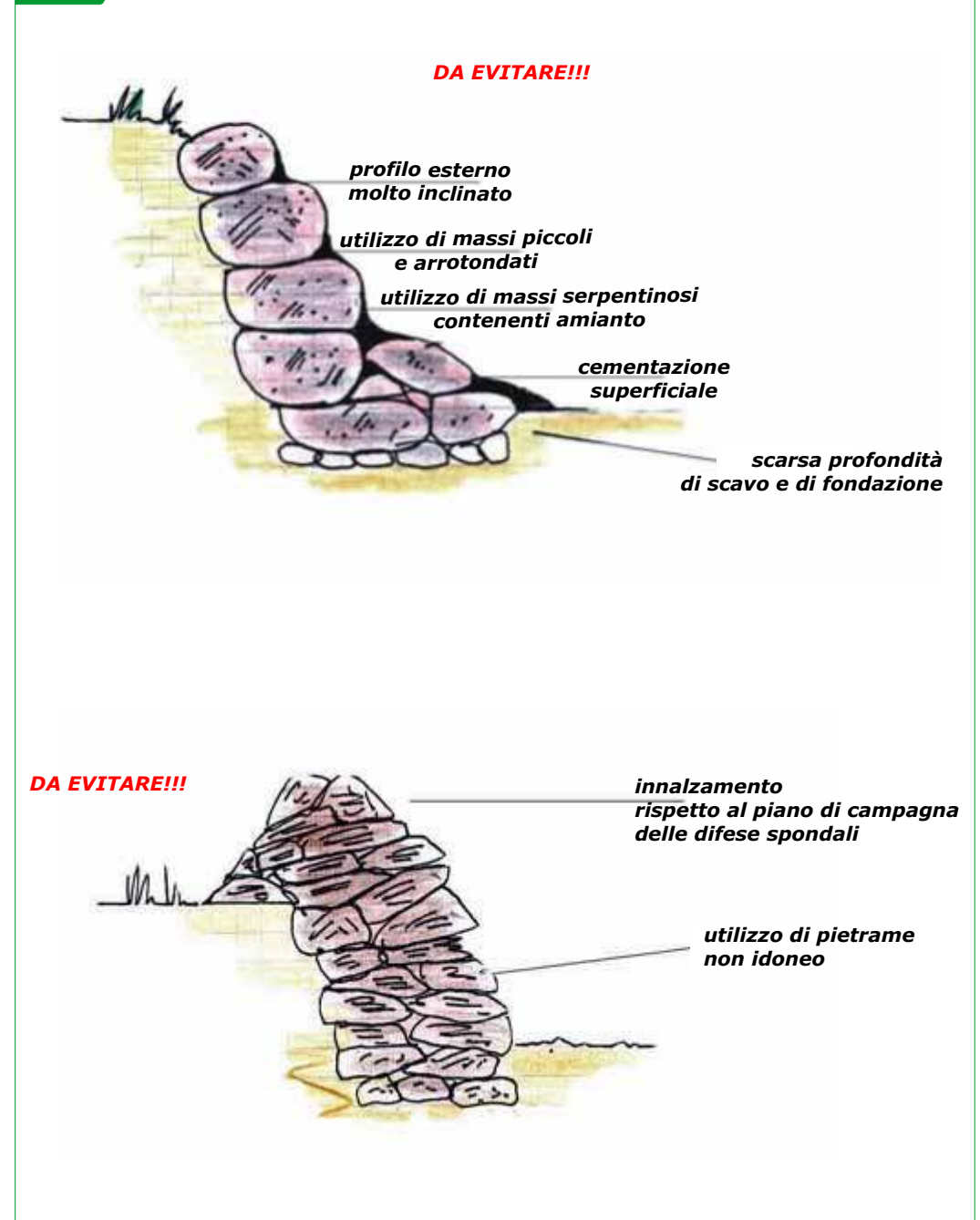



Figura 8

Figg.8-9: scogliere rivegetate mediante inerbimento

Figura 9

Figura 11

Figg.10-11:scogliere rivegetate con l'impiego di talee di Salix spp.

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

AGOSTINI R., La copertura vegetale, le alluvioni e la difesa del suolo, ORIZZONTI ECONOMICI, 66 (11-12), 1966

A.I.P.I.N. (ASSOCIAZIONE ITALIANA PER L'INGEGNERIA NATURALISTICA), *Sistemazioni in ambito fluviale*, IL VERDE EDITORIALE, MILANO 1995

A.R.P.A.V. - REGIONE VENETO, *Aspetti progettuali ed esecutivi nei cantieri di Ingegneria Naturalistica,* SOSPIROLO (BL) 1996

A.R.P.A.V. - REGIONE VENETO, *Le opere in legno nella sistemazione dei torrenti montani*, CENTRO VALANGHE DI ARABBA (BL) 2000

AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO, *Piano stralcio per la difesa idrogeologica e della rete idrografica del bacino del fiume Po.* QUADERNO DELLE OPERE TIPO, VOL. I E II, PARMA 1997

AA.VV., ATTI DEL CONGRESSO INTERNAZIONALE "*Tecniche di rinaturazione e di ingegneria naturalistica*", A.I.P.I.N. (ASSOCIAZIONE ITALIANA PER L'INGEGNERIA NATURALISTICA), TRIESTE 1992

AA.VV., *Sistemazione tecnica e biologica dei corsi d'acqua: 20 anni di esperienze*, AZIENDA SPECIALE PER LA REGOLAZIONE DEI CORSI D'ACQUA E LA DIFESA DEL SUOLO, PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO, 1992

AA.VV., *Opere di ingegneria naturalistica sulle sponde - Tecniche costruttive nel cantone di Berna (Svizzera)*, MINISTERO DELL'AMBIENTE, ROMA 1993

AA.VV., *Manuale tecnico di ingegneria naturalistica*, ASSESSORATO ALL'AMBIENTE DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA E ASSESSORATO AGRICOLTURA E FORESTE DELLA REGIONE VENETO, BOLOGNA 1993

AA.VV., ATTI DEL CORSO DI FORMAZIONE PROFESSIONALE IN INGEGNERIA NATURALISTICA, VIVAIO FORESTALE REGIONALE DI SOSPIROLO (BL) 1994

AA.VV., ATTI DEL CONGRESSO INTERNAZIONALE "*Le tecniche di rinaturazione e ingegneria naturalistica nelle sistemazionispondali*", A.I.P.I.N. (ASSOCIAZIONE ITALIANA PER L'INGEGNERIA NATURALISTICA), CHIERI (TO) 1995

AA.VV., *Quaderni di ingegneria naturalistica. Sistemazioni in ambito fluviale*, IL VERDE EDITORIALE, MILANO 1995

BAGNARESI U. E CHIUSOLI A., *Ricerche sull'impiego di arbusti per il consolidamento, la protezione, il miglioramento di pendici degradate*, L'ITALIA FORESTALE E MONTANA 5, 1976, PAGG. 196-209

BEGEMANN W., SCHIECHTL H.M., ERDBAU U., *Igenieurbiologie. Handbuch zum oekologischen Wasser*, BAUVERLAG GMBH, 1986

BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM, *Flüsse. Bäche, Auen. Pflegen und Gestalten*, MÜNCHEN 1991

BENINI G., *Sistemazioni idraulico-forestali*, UTET, TORINO 1990

BILLI P., *Canalizzazione dei corsi d'acqua*, VERDE AMBIENTE, N. 2/1995.

BIASI C., PAOLELLA A., *Progettazione ambientale*, LA NUOVA ITALIA SCIENTIFICA, ROMA 1992

BOSCHIERO W., *Prove di radicazione di talee di camefite legnose dell'orizzonte degli arbusti contorti, quale materiale da usare nella protezione del suolo in montagna.* TESI DI LAUREA, FACOLTÀ DI AGRARIA, UNIVERSITÀ DI PADOVA 1991 - 1992

CARBONARI A. E MEZZANOTTE M., *Tecniche naturalistiche nella sistemazione del territorio*, PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO, SERVIZIO RIPRISTINO E VALORIZZAZIONE AMBIENTALE, TRENTO 1996 2000

C.H. DÉPARTEMENT FÉDÉRAL DES TRANSPORTS, DES COMUNICATIONS ET DE L'ÉNERGIE, *Protection contre les crues des cours d'eau.* DIRECTIVES, BERNA 1982

CRISTOFOLINI F., *Rimboschimenti dei detriti di falda col metodo Bitterlich.* MONTI E BOSCHI, 4, 1962, PAGG. 153-157

CRIVELLARI D., *La tecnica dei rimboschimenti nei particolari riguardi della sistemazione dei bacini montani.* ATTI CONVEGNO NAZIONALE RIMBOSCHIMENTI, 6, FIRENZE 1961

CUMER A., *Indagini sui salici ed altre specie per sistemazioni ed arginature in verde.* ESPERIENZE E RICERCHE, 2, 1972, PAGG. 245-292

CUMER A., *Salici ed altre specie per sistemazioni ed arginature in verde.* (SECONDO CONTRIBUTO) ESPERIENZE E RICERCHE, 5, 1976, PAGG. 275-300

DE CECCO M., *Problematiche progettuali e applicative dell'ingegneria naturalistica nei lavori di bonifica e di sistemazione idraulico-forestale nei comprensori montani.* ATTI DEL CONVEGNO "RICOSTRUZIONE AMBIENTALE CON TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA", DIREZIONE GENERALE DELLE FORESTE E DEI PARCHI, REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA, UDINE 1991

DELLAGIACOMA F., FLORINETH F., ZOLIN G., *Opere di sistemazione e di regolazione dei corsi d'acqua*, V.I.A. PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO, TRENTO 1991

DE PHILIPPIS A., *Le utilità e la coltivazione dei salici.* L'ALPE, 20, 1933, PAGG. 5-6

DI FIDIO M., *I corsi d'acqua (Sistemazioni naturalistiche e difesa del territorio)*, PIROLA, MILANO 1995

DI FIDIO M., *Capitolato speciale d'appalto per opere di costruzione del paesaggio*, PIROLA, MILANO 1997

DIN, *Landschaftsbauarbeiten*, DIN, TASCHENBUCH 81, BEUTH VERLAG, BERLIN 1994

DRAGOGNA G., *I rinverdimenti delle piste da sci.* NATURA E MONTAGNA, 1, 1969

DRAGOGNA G., *Le tecniche di ingegneria biologica nelle restaurazioni ambientali in Italia.* ANNUARIO ACCADEMIA ITALIANA SCIENZE FORESTALI, 29, FIRENZE 1980, PAGG. 287-304

FENAROLI L., *Gli alberi d'Italia*, MARTELLO, MILANO 1967

FENAROLI L, GAMBI G., *Alberi*, MUSEO TRIDENTINO DI SCIENZE NATURALI, TRENTO 1976
FERRARI N., *Contributo alla sistemazione delle frane in terreni morenici d'alta montagna.* L'ALPE, 2-3, 1934, PAGG. 63-72
FERRARI M., MEDICI D., *Alberi e arbusti in Italia,* EDIZIONI AGRICOLE, BOLOGNA 2001
FLORINETH F., *Consolidamento di frane ed erosioni in zone montane*, BOLZANO
FLORINETH F., *Misure di ingegneria biologica nella sistemazione dei torrenti in Alto Adige.* DENDRONATURA, 1 (88), 1988, PAGG. 43-48
FLORINETH F., *Interventi di ingegneria naturalistica in alta montagna.* ACER, 6, 1990, PAGG. 95-97
GRAY D.H, SOTIR R.B., *Biotecnical & Soil Bioengineering Slope Stabilization. A Practical Guide for Erosion Control*, JOHN WILEY & SONS INC. 605 THIRD AVENUE NEW YORK, N.Y. 1996
GRAY D.H., *Reinforcement and stabilization of soil by vegetation.* JOUR. GEOTECH. ENGR. DIVISION ASCE, 100, GT6, PAGG. 659-699, NEW YORK, N.Y. 1974
HOFFMANN A., *La sistemazione idraulico-forestale dei bacini montani*, U.T.E.T., TORINO 1936
IPLA - AA.VV. *I boschi e carta forestale del Piemonte*, GUIDA EDITORI, TORINO 1981
KRAVINA G., PAIERO P., *L'impiego dei salici nella protezione del suolo in Friuli.* RASSEGNA TECNICA DEL FRIULI VENEZIA GIULIA, 34 (5-6), 1984, PAGG. 33-37
MAGINI E., *Salici* (GEN. SALIX). MONTI E BOSCHI, 7, 1956, PAGG. 11-12
MANOZZI TORINI L., *La sistemazione biologica delle frane.* RIVISTA FORESTALE ITALIANA, 5, ROMA 1942
MARTINI F., PAIERO P., *I salici d'Italia*, EDIZIONI LINT, TRIESTE 1988
MINISTERO DELL'AMBIENTE, *Capitolato speciale tipo per opere a verde e ripristini ambientali*, ROMA 1993, 1994 E SUCCESSIVE EDIZIONI
MINISTERO DELL'AMBIENTE, *Linee guida per capitolati speciali per interventi di ingegneria naturalistica e lavoro di opere a verde*, ROMA 1977
POLITECNICO DI MILANO, FACOLTÀ DI INGEGNERIA, DIIAR - IDRAULICA, CORSO DI AGGIORNAMENTO *"Metodi avanzati nella progettazionedi interventi di ingegneria naturalistica per la sistemazione dei corsi d'acqua",* MILANO 1999
PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO, AZIENDA SPECIALE PER LA REGOLAZIONE DEI CORSI D'ACQUA E LA DIFESA DEL SUOLO, *Sistemazione tecnica e biologica dei corsi d'acqua: vent'anni di esperienze*, BOLZANO 1992
PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO, *Per una difesa del territorio. La sistemazione dei bacini montani in provincia di Trento attraverso i secoli*, ARCA, TRENTO 1991
QUERINI R., *Principi naturalistici nella costruzione delle strade.* ATTI ISTITUTO ARCHITETTURA E URBANISTICA, 31, TRIESTE 1974, PAGG. 1-34
R.A.I.N. (GRUPPO INTERREGIONALE RECUPERI AMBIENTALI INGEGNERIA NATURALISTICA), VIDEO "*Tecniche di ingegneria naturalistica*",
REGIONE EMILIA-ROMAGNA, BOLOGNA 1995
REGIONE EMILIA-ROMAGNA, REGIONE VENETO, *Manuale tecnico di ingegneria naturalistica*, CENTRO DI FORMAZIONE PROFESSIONALE "O. MALAGUTI", BOLOGNA 1993
REGIONE FRIULI-VENEZIA GIULIA, DIREZIONE GENERALE DELLE FORESTE, *Criteri tecnici generali per la programmazione, progettazione ed esecuzione della viabilità forestale*, TOLMEZZO 1982
REGIONE FRIULI-VENEZIA GIULIA, ATTI DEL CONVEGNO *"Ricostruzione ambientale con tecniche di ingegneria naturalistica"*, UDINE 1991
REGIONE LAZIO, ASSESSORATO PER L'AMBIENTE, *Manuale di Ingegneria Naturalistica applicabile al settore idraulico*, ED. PUNTO STAMPA, ROMA 2002
REGIONE LIGURIA, ASSESSORATO EDILIZIA E DIFESA DEL SUOLO, *Opere e tecniche di ingegneria naturalistica e recupero ambientale*
REGIONE LOMBARDIA, *Piano per la difesa del suolo e il riassetto idrogeologico della Valtellina.* QUADERNO DELLE OPERE TIPO, MILANO 1993
REGIONE LOMBARDIA, *Direttiva concernente criteri ed indirizzi per l'attuazione degli interventi di ingegneria naturalistica sul territorio della Regione.* BURL, 4° S.S. AL N. 4 DEL 26 GENNAIO 1996
REGIONE LOMBARDIA, *Direttiva sull'impiego dei materiali vegetali vivi negli interventi di ingegneria naturalistica in Lombardia.* BURL, 1° S.S. AL N. 31 DEL 29 LUGLIO 1997
REGIONE LOMBARDIA, APPROVAZIONE DIRETTIVA *"Quaderno delle opere tipo di Ingegneria Naturalistica",* BURL 1° S.S. AL N. 19 DEL 19 MAGGIO 2000
REGIONE PIEMONTE, SETTORE PREVENZIONE RISCHIO GEOLOGICO, METEOROLOGICO E SISMICO, A. LAZZARI, *Ingegneria naturalistica nella sistemazione dei versanti*, TORINO 1990
REGIONE PIEMONTE, ASSESSORATO ALL'AMBIENTE, V.M. MOLINARI, *Elenco prezzi dei materiali e opere per il recupero ambientale delle aree degradate e per la sistemazione e rinaturalizzazione di sponde e alvei fluviali e lacustri,* TORINO 1995 -1996
REGIONE PIEMONTE, *I tipi forestali del Piemonte,* TORINO 1996, PARTE I E II
REGIONE PIEMONTE, ASSESSORATO ALL'AMBIENTE, V.M. MOLINARI, *Elenco prezzi dei materiali e opere per il recupero ambientale e l'Ingegneria Naturalistica,* TORINO 1997
REGIONE PIEMONTE, ENTE RISERVE NATURALI GARZAIA DI VALENZA E DI BOSCO MARENGO, *I fiumi italiani e le calamità artificiali,*1998
REGIONE PIEMONTE, V.M. MOLINARI, L. DE ANTONIS, *Interventi di Sistemazione del territorio con tecniche di Ingegneria Naturalistica*, TORINO 2003 - Prezzi di riferimento *per Opere e Lavori Pubblici,* VOL. V, SEZ. RECUPERO AMBIENTALE - INGEGNERIA NATURALISTICA, TORINO 2000 - 2001 - 2002 - 2003 - 2004 - 2005 - 2006
REGIONE AUTONOMA VALLE D'AOSTA, ASSESSORATO AGRICOLTURA, FORESTE E AMBIENTE NATURALE, *Selvicoltura applicata*

REGIONE VENETO, *Corso di formazione professionale in ingegneria naturalistica. Centro sperimentale valanghe e difesa idrogeologica*, ARABBA (BL) 1994-95
REGIONE VENETO, *La valutazione dei rischi e la tutela della sicurezza nei cantieri forestali*, ED. PAPERGRAAF, ARABBA (BL) 2001
REGIONE VENETO - ARPAV, A. ANDRICH, V. D'AGOSTINO, *Le opere in legno nella sistemazione dei torrenti montani*, ARABBA (BL) 2000
SAULI G., SIEBEN S., *Tecniche di rinaturazione e d'ingegneria naturalistica*, PATRON EDITORE, BOLOGNA 1995
SCHIECHTL H.M., *Sicherungsarbeiten im Landschaftsbau*, VERLAG GEORG D.W., CALLWEY, MÜNCHEN 1973
SCHIECHTL H.M., *Bioingegneria forestale - Biotecnica naturalistica*, EDIZIONI CASTALDI, FELTRE (BL) 1991
SCHIECHTL H.M., *I salici nell'uso pratico*, EDIZIONI ARCA, GARDOLO (TN) 1996
SCHIECHTL H.M., STERN R., *Ingegneria Naturalistica. Manuale delle opere in terra*, EDIZIONI CASTALDI, FELTRE (BL) 1992
SCHIECHTL H.M., STERN R., *Naturnaher Erdbau mit Ingenieurbiologischen Bauweisen*, ÖSTERREICHISCHEN AGRARVERLAG, WIEN 1992
SCHIECHTL H.M., STERN R., *Ingegneria Naturalistica. Manuale delle costruzioni idrauliche*, EDIZIONI ARCA, GARDOLO (TN) 1994
WATSCHINGER E., DRAGOGNA G., *Problemi di difesa del suolo: le sistemazioni elastiche*. MONTI E BOSCHI, 6, 1968, PAGG. 7-15
WRABER M., *Il ruolo degli studi vegetazionali nelle sistemazioni dei bacini montani*. ANNUARIO ACCADEMICO ITALIANO SCIENTIFICO FORESTALE, 17, 1968, PAGG. 275-289
ZEH H., *Tecniche di ingegneria naturalistica*, EDIZIONI IL VERDE EDITORIALE, MILANO 1996
REGIONE PIEMONTE, BANCA DATI GEOLOGICA, Esame di dati storici relativi a eventi alluvionali nelle valli dei torrenti Orcoe Soana, TORINO 1997
D.F. VAN DINE, Debris Flow Control structures for Forest Engineering, B.C. MINISTRY OF FORESTS, FORESTRY DIVISION SERVICES BRANCH. BRITISH COLUMBIA, CANADA 1986